

高等职业教育自动化类专业规划教材·项目导向系列

# 变频器控制技术

李方园 编著

電子工業出版社·

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书从自动化类变频器方向的岗位出发,按照项目导入、任务驱动的原则共设置了六个项目背景与控制要求,对包括物料分拣输送带、化工厂泵与搅拌机、中央空调风机、数控车床变频主轴、卧螺离心机和造纸收卷系统在内的变频控制,进行逐个剖析,由浅入深,从知识讲座到技能训练,从综合解决方案到技术答疑,把变频器几乎所有的功能都一一应用进去。

本书透彻地阐述了变频器的基本工作原理、应用方案和维护技巧,并以三菱最新 A700 为例,设置了一个个可以操作的环节和项目。同时本书考虑到高职内尚有一定数量的 A500/E500 系列三菱变频器教仪设备,以附录任务书的形式进行了对比操作。

本书可作为高职高专电气自动化、机电一体化、楼宇智能化等专业的项目化教材,也可作为广大电工技术爱好者、求职者、下岗再就业者、职业培训人员的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

变频器控制技术/李方园编著. —北京:电子工业出版社,2010.4

高等职业教育自动化类专业规划教材·项目导向系列

ISBN 978-7-121-10496-1

I. 变… II. 李… III. 变频器-电气控制-高等学校:技术学校-教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 040717 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:刘真平

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:451 千字

印 次:2010 年 4 月第 1 次印刷

印 数:4 000 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

# 前 言

变频器控制技术是目前高职高专电气自动化、机电一体化和楼宇智能化专业所必学的课程之一。本书作为高职院校自动化类专业项目化课程改革的阶段性成果,从自动化类变频器方向的岗位出发,按照项目导入、任务驱动的原则共设置了六个项目背景与控制要求,对包括物料分拣输送带、化工厂泵与搅拌机、中央空调风机、数控车床变频主轴、卧螺离心机和造纸收卷系统在内的变频控制,进行逐个剖析,由浅入深,从知识讲座到技能训练,从综合解决方案到技术答疑,把变频器几乎所有的功能都一一应用进去。

本教材源于 2009 年 7 月期间在德国爱科特教育集团学习德国先进职业教育课程时的一次 IHK 证书考试交流。IHK 证书是德国国家职业资格证书,具有国际影响力。德国在多年前就已经尝试进行项目化 IHK 考试,规定学生在一定的时间内完成考试所给定的一个项目。在德国职业教育中,项目课程一般定义为:以工作任务为中心选择、组织课程内容,并以完成工作任务为主要学习方式。

在职教理论实践中,针对某个“项目”,学生可以根据已有的和新获取的知识(可从多个途径获取,如利用网络资源、教师资源和书籍资料自学等)、技能和经验制定出若干不同的实施方案,这样一来,不仅学生的专业技能得到了训练,而且学生的独立工作能力、沟通说服能力、创造能力、团队合作的能力以及综合应用能力等均得到了全面的培训和提高。

同时,对于“变频器应用”领域,作者已经“浸染”已久,相继出版了《变频器行业应用实践》、《变频器自动化工程实践》、《变频器应用技术》、《变频器应用与维护》、《变频器原理与维修》等多本相关书籍,并从 2004 年起一直担任《控制与传动》技术主编、《变频器世界》编委,在杂志上撰写了数十篇变频器的行业应用案例,其中“变频调速系统的设计与应用”系列文章荣获《自动化博览》举办的 2008 年中国自动化领域十大年度优秀论文。

因此,本教材力图通过六个项目来透彻阐述变频器的基本工作原理、应用方案和维护技巧,以三菱最新 A700 为例,设置了一个个可以操作的环节和项目;同时,考虑到高职院校内尚有一定数量的 A500/E500 系列三菱变频器教仪设备,以附录任务书的形式进行了对比操作。

在教材编写过程中,得到了爱科特教育集团艾伯科麦尔院长的帮助,在德国学习期间专程安排 IHK 专家进行变频器等自动化相关项目的介绍和实训操作。同时,本教材得到了三菱电机自动化(上海)有限公司、宁波中华纸业有限公司、宁波钢铁有限公司、常州米高电子科技有限公司等厂家相关人员的帮助并提供了相当多的典型案例和维护经验。在编写中曾参考和引用了国内外许多专家、学者最新发表的论文和著作等资料,另外,陈亚玲、叶明、陈贤富、沈阿宝、陈亚珠、李伟庄、章富科、方定桂、刘军毅、戴琴、王永行、刘伟红等参与了资料整理、文字录入和校对工作,作者在此一并致谢。

作 者  
2009. 11. 21





# 目 录

项目 1 物料分拣输送带的变频控制 .....	1
1.1 项目背景及要求 .....	2
1.1.1 项目背景 .....	2
1.1.2 控制要求 .....	2
1.2 知识讲座:变频器原理及基本应用 .....	3
1.2.1 交流异步电动机和同步电动机的调速 .....	3
1.2.2 不同调速方式的工作原理 .....	5
1.2.3 变频调速原理 .....	9
1.2.4 变频器的频率给定 .....	13
1.2.5 变频器的运转指令 .....	18
1.2.6 交直交变频器的基本构造 .....	21
1.3 技能训练一:三菱 A700 变频器的初步认识 .....	24
1.3.1 三菱 A700 变频器的认识 .....	24
1.3.2 A700 变频器 PU 操作 .....	27
1.3.3 A700 变频器的参数设置要点 .....	28
1.4 技能训练二:变频器运行模式与参数设置 .....	31
1.4.1 运行模式功能与参数 Pr. 79 的设置 .....	31
1.4.2 A700 外部端子的接线 .....	32
1.4.3 A700 外部模拟量的接线 .....	32
1.4.4 A700 常见的运行模式技能操作 .....	33
1.5 项目设计方案 .....	36
1.5.1 物料分拣输送带变频器的系统设计 .....	36
1.5.2 硬件设计 .....	36
1.5.3 变频器参数设置与调试 .....	39
1.6 技术答疑 .....	40
思考与练习 .....	43
项目 2 化工厂泵与搅拌机的变频控制 .....	45
2.1 项目背景及要求 .....	46
2.1.1 项目背景 .....	46
2.1.2 控制要求 .....	46
2.2 知识讲座:变频器 I/O 端子功能与 $V/f$ 控制 .....	47
2.2.1 变频器数字量输入端子介绍 .....	47
2.2.2 变频器数字量输出端子介绍 .....	49
2.2.3 变频器模拟量输入端子介绍 .....	52
2.2.4 变频器模拟量输出端子介绍 .....	53

2.2.5	变频器高速脉冲输入/输出端子介绍	53
2.2.6	变频器 $V/f$ 控制原理	54
2.2.7	变频器的启动、制动	57
2.2.8	外接负载的分类	62
2.3	技能训练一:变频器 A700 I/O 端子的熟悉	63
2.3.1	A700 变频器输入和输出端子的熟悉	63
2.3.2	A700 变频器多段速接线与参数设置	66
2.3.3	A700 模拟量通道的确定	68
2.4	技能训练二:针对特殊负载的变频器参数设置与接线	72
2.4.1	A700 手动转矩提升操作	72
2.4.2	A700 加减速的功能选择	73
2.4.3	A700 对电动机的热保护功能设置	74
2.4.4	电动机的节能运行	76
2.4.5	A700 变频器多功能输出端子操作	76
2.4.6	A700 变频器模拟量输出端子操作	78
2.5	项目设计方案	81
2.5.1	化工厂泵与搅拌机变频控制系统的硬件设计	81
2.5.2	化学品电动机的变频器参数设置与调试	83
2.6	技术答疑	84
	思考与练习	86
<b>项目 3</b>	<b>中央空调风机的变频节能 PID 控制</b>	<b>88</b>
3.1	项目背景及要求	89
3.1.1	项目背景	89
3.1.2	控制要求	90
3.2	知识讲座:PID 控制与变频器	91
3.2.1	变频器内置 PID 原理	91
3.2.2	中央空调变频风机的几种控制方式	92
3.2.3	温度传感器及其相关仪表的选型	95
3.3	技能训练一:A700 变频器 PID 控制线路设计	97
3.3.1	A700 变频器 PID 操作	97
3.3.2	A700 变频器 PID 构成与动作	98
3.4	技能训练二:变频器 A700 的节能计算	100
3.4.1	节能监视器	100
3.4.2	节能瞬时、节能平均和节能累计值	102
3.4.3	年度省电量和节能费用	104
3.4.4	实际工程中风机和泵类负载的节能计算	104
3.5	项目设计方案	107
3.5.1	中央空调风机的变频节能硬件设计	107
3.5.2	中央空调风机的变频器参数设置和调试	109
3.6	技术答疑	111
	思考与练习	118

<b>项目 4 数控车床主轴的开环矢量控制</b>	121
4.1 项目背景及要求	122
4.1.1 项目背景	122
4.1.2 控制要求	122
4.2 知识讲座:开环矢量控制与变频制动	123
4.2.1 变频器矢量控制原理	123
4.2.2 开环矢量控制方式	125
4.2.3 变频器容量选择的依据	130
4.2.4 电动机低频运行时所要考虑到的因素	131
4.2.5 变频器制动原理	132
4.2.6 变频器能耗制动的设计	133
4.2.7 变频器能耗制动的应用	135
4.3 技能训练一:变频器 A700 的开环矢量调试	137
4.3.1 A700 变频器离线自动调整	137
4.3.2 A700 变频器在线自动调整	140
4.3.3 开环矢量控制的实施步骤	141
4.4 技能训练二:主轴变频器与制动单元及电阻的连接	142
4.4.1 A700 变频器与专用外接制动电阻器的连接	142
4.4.2 A700 变频器与制动单元 FR-BU 的连接	143
4.4.3 A700 变频器与制动单元 MT-BU5 的连接	144
4.4.4 A700 变频器制动参数的设置与调试	145
4.5 项目设计方案	145
4.5.1 数控车床主轴驱动功率、转速范围和控制方式的确定	145
4.5.2 华中 HNC-21 数控装置与变频器的连接	148
4.5.3 数控车床主轴变频器的连线与调试	149
4.6 技术答疑	151
思考与练习	156
<b>项目 5 变频多传动在卧螺离心机上的应用</b>	158
5.1 项目背景及要求	159
5.1.1 项目背景	159
5.1.2 控制要求	159
5.2 知识讲座:多传动变频的组成与通信	160
5.2.1 共用直流母线方式的回馈制动	160
5.2.2 变频器回馈制动的原理	161
5.2.3 卧螺离心机电气控制结构	164
5.2.4 离心机双变频系统的模型分析	166
5.2.5 变频器共直流母线方案的应用	173
5.2.6 双电动机离心机变频器的两种连接方法	174
5.2.7 变频器的串口通信	175
5.2.8 Modbus 总线	177

5.3	技能训练一:变频器 A700 的直流供电方式 .....	178
5.3.1	A700 变频器的直流供电模式一 .....	178
5.3.2	A700 变频器的直流供电模式二 .....	178
5.3.3	直流供电模式二的电梯变频器运行实例 .....	179
5.4	技能训练二:变频器 A700 的通信测试 .....	181
5.4.1	A700 变频器通信端子熟悉 .....	181
5.4.2	A700 变频器 PU 口操作 .....	182
5.4.3	变频器 RS485 端子操作 .....	183
5.5	项目解决方案 .....	183
5.5.1	卧螺离心机变频器的硬件设计 .....	183
5.5.2	卧螺离心机变频器的参数设置 .....	184
5.5.3	采用通信控制的卧螺离心机硬件与参数设置 .....	185
5.6	技术答疑 .....	189
	思考与练习 .....	193
<b>项目 6</b>	<b>造纸收卷系统的闭环矢量控制 .....</b>	<b>195</b>
6.1	项目背景及要求 .....	196
6.1.1	项目背景 .....	196
6.1.2	控制要求 .....	197
6.2	知识讲座:矢量控制与转矩控制 .....	197
6.2.1	闭环矢量控制方式 .....	197
6.2.2	变频器的转矩控制原理 .....	202
6.2.3	ABB 变频器的 DTC 方式 .....	204
6.2.4	典型的张力控制系统 .....	207
6.3	技能训练一:变频器 A700 矢量控制与转矩控制 .....	212
6.3.1	A700 变频器的编码器接口卡 FR-A7AP 操作 .....	212
6.3.2	A700 变频器闭环矢量控制的操作 .....	215
6.3.3	A700 变频器闭环矢量速度控制的过程 .....	217
6.3.4	A700 变频器闭环矢量转矩控制的过程 .....	217
6.4	技能训练二:三菱张力控制器的设置与安装 .....	218
6.4.1	三菱张力控制器 LE-30CTA 概述 .....	218
6.4.2	三菱张力控制器 LE-30CTA 调试步骤 .....	219
6.5	项目设计方案 .....	227
6.5.1	收卷传动控制系统的硬件设计 .....	227
6.5.2	收卷变频控制系统的参数设置 .....	231
6.6	技术答疑 .....	233
	思考与练习 .....	235
<b>附录 A</b>	<b>三菱 E540 变频器的安装、调试与维护 .....</b>	<b>237</b>
	任务一 变频器的安装 .....	237
	第一部分 实训的目的与要求 .....	237
	第二部分 技能训练 .....	238

第三部分 总结提高 .....	243
任务二 变频器的调试与参数设置 .....	244
第一部分 实训的目的与要求 .....	244
第二部分 技能训练 .....	244
第三部分 总结提高 .....	250
任务三 变频器的维修与保养 .....	251
第一部分 实训的目的与要求 .....	251
第二部分 技能训练 .....	251
第三部分 总结提高 .....	255
附录 B 三菱 A500 变频器与 A700 系列的比较 .....	256
B.1 概述 .....	256
B.2 安装时的注意事项 .....	257
附录 C 三菱 A700 变频器参数总表 .....	259
参考文献 .....	272

## 物料分拣输送带的变频控制

变频器主要用于交流电动机转速的调节,是理想的调速方案。变频调速以其自身所具有的调速范围广,调速精度高,动态响应好等优点,在许多需要精确速度控制的应用中发挥着提高产品质量和生产效率的作用。除此之外,变频器还有显著的节能效果,不仅在相关工业设备,而且在民用产品中,也体现了节约电费,提高设备性能,保护环境等方面的优势,因而得到用户的普遍认可和广泛应用。本项目通过物流分拣输送带的变频控制方案来了解变频器的最简单应用。

本项目的学习目标如下:



### 知识目标

了解交流电动机的调速方式;熟悉变频调速的基本原理及其优点;掌握恒压频比工作方式及其特点;掌握变频器的电路基本结构。



### 技能目标

能对三菱 A700 变频器进行简单接线;能熟练掌握 A700 参数的初始化过程;能进行变频器的简单调试,并运用不同的运行模式来解决简单变频调速项目。



### 职业素养目标

树立用电安全意识,并能从电动机调速系统的发展轨迹看待变频器在实际工程中的应用背景。



## 1.1 项目背景及要求

### 1.1.1 项目背景

物料分拣输送带是现代物流系统的重要组成部分,通过变频器来控制输送带电动机,可以使物料分拣系统方便地进行系统集成,因此已经成为目前物流行业控制系统发展的趋势。如图 1.1 所示为物料分拣输送带与物料分拣过程示意。

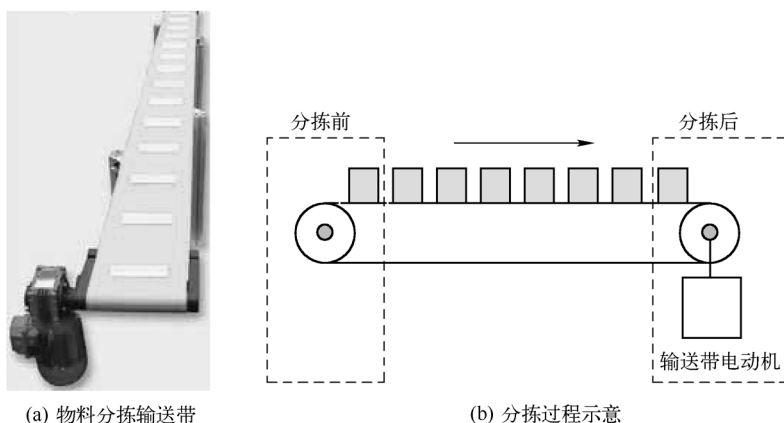


图 1.1 物料分拣输送带与物料分拣过程示意

以前物料输送带设备调速基本都采用手动机械式有级变速(比如更换皮带轮大小或齿轮箱变速比等),非常不方便。而作为交流调速最重要的驱动装置——变频器来说,其优点已经在物料输送设备中发挥着越来越重要的作用。比如变频调速启动大都从低速开始,频率较低,这样可以避免物料因惯性而倒下;加、减速时间可以任意设定,加、减速比较平缓,启动电流较小,因此可以进行较高频率的启停;变频调速很容易实现电动机的正、反转,只需要改变变频器内部逆变管的开关顺序,即可实现输出换相,也不存在因换相不当而烧毁电动机的问题。

### 1.1.2 控制要求

现在要求对该物料分拣输送带采用交流变频控制,已知输送带采用三相鼠笼式异步电动机 1.5kW,三相交流 380V,请设计合理的控制方案。具体要求如下。

- (1) 变频器直接安装在现场,以方便控制,但是该现场安装地振动比较大;
- (2) 能进行正转与反转控制,且用操作台上的按钮进行控制,不用变频器的操作面板;



- (3) 速度设定来自于用户自己安装的多圈电位器;
- (4) 根据工艺要求设置输送的加速度和最快速度。

## 1.2 知识讲座:变频器原理及基本应用

### 1.2.1 交流异步电动机和同步电动机的调速

#### 1. 异步电动机

三相异步电动机要旋转起来的先决条件是具有一个旋转磁场,三相异步电动机的定子绕组就是用来产生旋转磁场的。三相电源相与相之间的电压在相位上是相差  $120^\circ$  的,三相异步电动机定子中的三个绕组在空间方位上也互差  $120^\circ$ ,这样,当在定子绕组中通入三相电源时,就会产生一个旋转磁场,其产生的过程如图 1.2 所示。图 1.2 中分四个时刻来描述旋转磁场的产生过程。电流每变化一个周期,旋转磁场在空间旋转一周,即旋转磁场的旋转速度与电流的变化是同步的。

旋转磁场的转速为

$$n = 60f/P$$

式中, $f$  为电源频率, $P$  是磁场的磁极对数, $n$  的单位是转/分 (r/min)。根据此式我们知道,电动机的转速与磁极数和使用电源的频率有关。

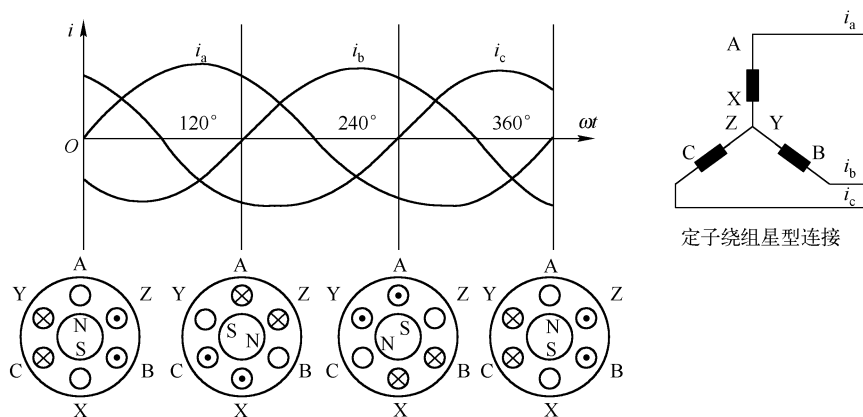


图 1.2 三相异步电动机原理

定子绕组产生旋转磁场后,转子导条(鼠笼条)将切割旋转磁场的磁力线而产生感应电流,转子导条中的电流又与旋转磁场相互作用产生电磁力,电磁力产生的电磁转矩驱动转子沿旋转磁场方向以  $n_1$  的转速旋转起来。一般情况下,电动机的实际转速  $n_1$  低于旋转磁场的转速  $n$ 。因为假设  $n = n_1$ ,则转子导条与旋转磁场就没有相对运动,就不会切割磁





力线,也就不会产生电磁转矩,所以转子的转速  $n_1$  必然小于  $n$ 。为此将这种结构的三相电动机称为异步电动机。

## 2. 同步电动机

同步电动机和其他类型的旋转电动机一样,由固定的定子和可旋转的转子两大部分组成。一般分为转场式同步电动机和转枢式同步电动机。

图 1.3 给出了最常用的转场式同步电动机的结构模型,其定子铁芯的内圆均匀分布着定子槽,槽内嵌放着按一定规律排列的三相对称交流绕组。这种同步电动机的定子又称为电枢,定子铁芯和绕组又称为电枢铁芯和电枢绕组。转子铁芯上装有制成一定形状的成对磁极,磁极上绕有励磁绕组,通以直流电流时,将会在电动机的气隙中形成极性相间的分布磁场,称为励磁磁场(也称为主磁场、转子磁场)。气隙处于电枢内圆和转子磁极之间,气隙层的厚度和形状对电动机内部磁场的分布和同步电动机的性能有重大影响。

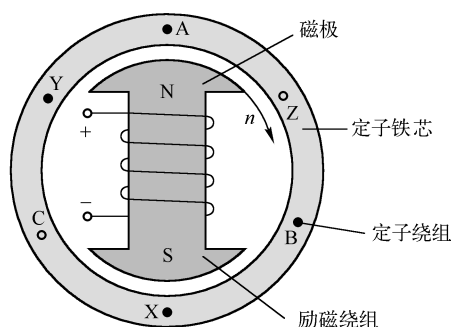


图 1.3 同步电动机的结构模型

除了转场式同步电动机外,还有转枢式同步电动机,其磁极安装于定子上,而交流绕组分布于转子表面的槽内,这种同步电动机的转子充当电枢。图中用 AX、BY、CZ 三个在空间错开  $120^\circ$  电角度分布的线圈代表三相对称交流绕组。

## 3. 交流电动机的调速

交流电动机比直流电动机经济耐用得多,因而被广泛应用于各行各业,是一种量大面广的传统产品。在实际应用场合,往往要求电动机能随意调节转速,以便获得满意的使用效果。但交流电动机在这方面比起直流电动机就要逊色得多,于是不得不借助其他手段达到调速目的。根据感应电动机的转速特性表达式可知,它的调速方式有三大类:频率调节、磁极对数调节和转差率调节。从而出现了目前常用的几种调速方法,如变极调速、调压调速、电磁调速、变频调速、液力耦合器调速、齿轮调速等(如图 1.4 所示)。

基于节能角度,通常把交流调速分为高效调速和低效调速。高效调速指基本上不增加转差损耗的调速方式,在调节电动机转速时转差率基本不变,不增加转差损失,或将转差功率以电能形式回馈电网或以机械能形式回馈机轴;低效调速则存在附加转差损失,在相同调速工况下其节能效果低于不存在转差损耗的调速方式。



属于高效调速方式的主要有变极调速、串级调速和变频调速;属于低效调速方式的主要有滑差调速(包括电磁离合器调速、液力耦合器调速、液粘离合器调速)、转子串电阻调速和定子调压调速。其中,液力耦合器调速和液粘离合器调速属于机械调速,其他均属于电气调速。变极调速和滑差调速方式适用于笼型异步电动机,串级调速和转子串电阻调速方式适用于绕线型异步电动机,定子调压调速和变频调速既适用于笼型,也适用于绕线型异步电动机。变频调速和机械调速还可用于同步电动机。

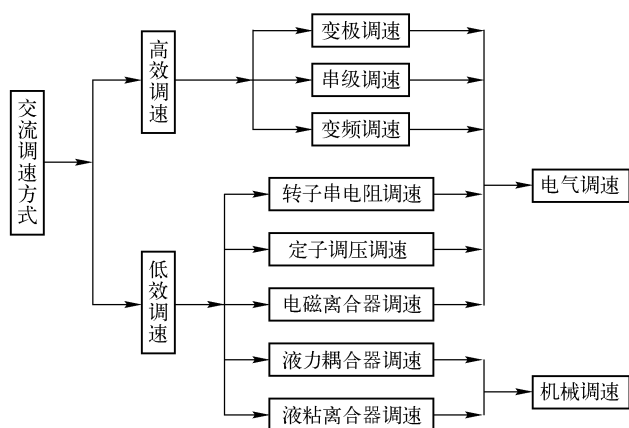


图 1.4 交流电动机主要调速方式分类图

液力耦合器调速技术属于机械调速范畴,它将匹配合适的调速型液力耦合器安装在常规的交流电动机和负载(风机、水泵或压缩机)之间,从电动机输入转速,通过耦合器工作腔中高速循环流动的液体,向负载传递力矩和输出转速。只要改变工作腔中液体的充满程度即可调节输出转速。

液粘离合器调速是指利用液粘离合器作为功率传递装置完成转速调节的调速方式,属于机械调速。液粘离合器是利用两组摩擦片之间接触来传递功率的一种机械设备,如同液力耦合器一样安装在笼型感应电动机与工作机械之间,在电动机低速运行的情况下,利用两组摩擦片之间摩擦力的变化无级地调节工作机械的转速,由于它存在转差损耗,是一种低效调速方式。

## 1.2.2 不同调速方式的工作原理

### 1. 异步电动机的变极调速

变极调速技术是通过变极多速异步电动机实现调速的。这种多速电动机大都为笼型转子电动机,其结构与基本系列异步电动机相似,现国内生产的有双、三、四速等几类。

变极调速是通过改变定子绕组的极对数来改变旋转磁场同步转速进行调速的,是无附加转差损耗的高效调速方式。由于极对数 $p$ 是整数,它不能实现平滑调速,只能有级调速。在供电频率 $f=50\text{Hz}$ 的电网, $p=1、2、3、4$ 时,相应的同步转速 $n_0=3\,000、1\,500、1\,000、$



750r/min。改变极对数是用改变定子绕组的接线方式来进行的(见图1.5),图1.5(a)中 $p=2$ ,图1.5(b),(c)中 $p=1$ 。双速电动机的定子是单绕组,三速和四速电动机的定子是双绕组。这种改变极对数来调速的笼型电动机,通常称为多速感应电动机或变极感应电动机。

多速电动机的优点是运行可靠,运行效率高,控制线路很简单,容易维护,对电网无干扰,初始投资低。缺点是有级调速,而且调速级差大,从而限制了它的使用范围。它适合于按2~4挡固定调速变化的场合,为了弥补有级调速的缺陷,有时与定子调压调速或电磁离合器调速配合使用。

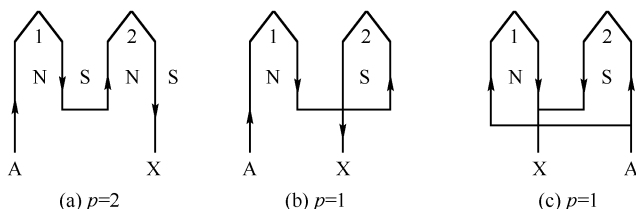


图1.5 定子绕组改变极对数示意图

## 2. 电磁调速

电磁调速技术是通过电磁调速电动机实现调速的技术。电磁调速电动机(又称为滑差电动机)由三相异步电动机、电磁转差离合器和测速发电机组成,三相异步电动机作为原动机工作。该技术是传统的交流调速技术之一,适用于容量在0.55~630kW范围内的风机、水泵或压缩机。

电磁离合器调速是由笼型感应电动机和电磁离合器一体化的调速电动机来完成的,把这种调速电动机称为电磁离合器电动机,又称为滑差电动机,属于低效调速方式。电磁调速电动机的调速系统主要由笼型感应电动机、涡流式电磁转差离合器和直流励磁电源三个部分组成(见图1.6),直流励磁电源功率较小,通过改变晶闸管的控制角改变直流励磁电压的大小来控制励磁电流。它以笼型电动机作为原动机,带动与其同轴连接的电磁离合器的主动部分,离合器的从动部分与负载同轴连接,主动部分与从动部分没有机械联系,只有磁路相通。离合器的主动部分为电枢,从动部分为磁极,电枢是一杯状铸铜体,磁极则由铁芯和励磁绕组构成,绕组与部分铁芯固定在机壳上不随磁极旋转,直流励磁不必经过滑环而直接由直流电源供电。当电动机带动电枢在磁极磁场中旋转时,就会感生涡流,涡流与磁极磁场作用产生的转矩将使电枢牵动磁极拖动负载同向旋转,通过控制励磁电流改变磁场强度,使离合器产生大小不同的转矩,从而达到调速的目的。

电磁离合器的优点是结构比较简单,可无级调速,维护方便,运行可靠,调速范围也比较宽,对电网无干扰,它可以空载启动,对需要重载启动的负载可获得容量效益,提高电动机运行负载率。缺点是高速区调速特性软,不能全速运行;低速区调速效率比较低。它适用于调速范围适中的中小容量电动机。

## 3. 串级调速

串级调速的典型调速系统有两种:一种是电气串级调速系统,另一种是电动机串级调



速系统。电气串级调速电路是由异步机转子一侧的整流器和电网一侧的晶闸管逆变器组成的。用改变逆变器的逆变角来调节异步机转速,将整流后的直流通过逆变器变换成具有电网频率的交流,将转差功率回馈电网。电动机串级调速电路把转子整流后的直流作为电源接到一台直流电动机的电枢两端,用调节励磁电流来调节异步机转速,直流机与异步机同轴相接,将转差功率变为直流器的输入功率与异步机一起拖动负载,使转差功率回馈机轴。电动机串级调速的调速范围不大,又增加了一台直流电动机,使系统复杂化,因此应用不多。电气串级调速系统比较简单,控制方便,应用比较广泛。

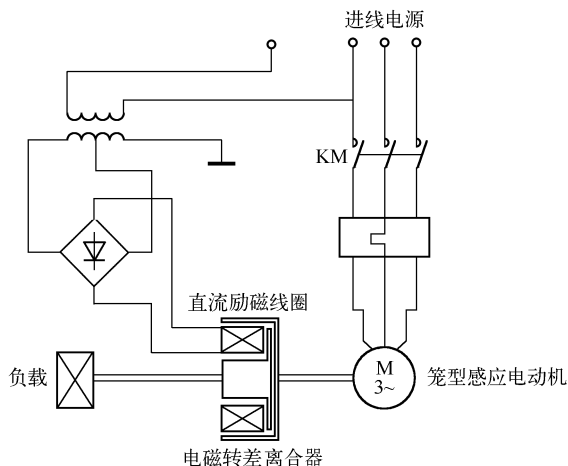


图 1.6 电磁调速示意图

串级调速的主要优点是调速效率高,可实现无级调速,初始投资不大。缺点是对电网干扰大,调速范围窄,功率因数也比较低,与转子串电阻相比,主要是它的效率优势。

#### 4. 定子调压调速

定子调压调速用改变定子电压实现调速的方法来改变电动机的转速,调速过程中它的转差功率以发热形式损耗在转子绕组中,属于低效调速方式。由于电磁转矩与定子电压的平方成正比,改变定子电压就可以改变电动机的机械特性,与某一负载特性相匹配就可以稳定在不同的转速上,从而实现调速功能。供电电源的电压是固定的,它用调压器来获得可调压的交流电源。传统的调压器有饱和电抗器式调压器、自耦变压器式调压器和感应式调压器,主要用于笼型感应电动机的减压启动,以减小启动电流。晶闸管是交流调压调速的主要形式,它利用改变定子侧三相反并联晶闸管的移相角来调节转速,可以做到无级调速。

调压调速的主要优点是控制设备比较简单,可无级调速,初始投资低,使用维护比较方便,可以兼做鼠笼机的降压启动设备。缺点是调速效率比较低,低速运行调速效率更低;调速范围窄,只有对风机和泵类工作机械调速才可以获得较宽的调速范围并减少转差损耗;调速特性比较软,调速精度差;对电网干扰也大。它适用于调速范围要求不宽,较长时间在高速区运行的中小容量的异步电动机。



## 5. 转子串电阻调速

转子串电阻调速是通过改变绕线型感应电动机转子串接附加外接电阻从而改变转子电流使转速改变的方式进行调速的(见图 1.7),为减少电刷的磨损,中等容量以上的绕线型感应电动机还设有提刷装置。当电动机启动时接入外接电阻以减小启动电流,不需要调速时移动手柄,可提起电刷与集电滑环脱离接触,同时使三个集电滑环彼此短接起来。

串电阻调速的优点是技术成熟,控制方法简单,维护方便,初始投资低,对电网无干扰。缺点是转差损耗大,调速效率低;调速特性软,动态响应速度慢;外接附加电阻不易做到无级调速,调速平滑性差。它适合于调速范围不太大和调速特性要求不高的场合。

## 6. 变频调速

变频调速是通过改变异步电动机供电电源的频率 $f$ 来实现无级调速的,其原理如图 1.8 所示。电动机采用变频调速以后,电动机转轴直接与负载连接,电动机由变频器供电。变频调速的关键设备就是变频器,变频器是一种将交流电源整流成直流后再逆变成频率、电压可变的交流电源的专用装置,主要由功率模块、超大规格专用单片机等构成。变频器能够根据转速反馈信号调节电动机供电电源的频率,从而可以实现相当宽频率范围内的无级调速。

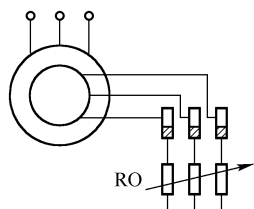


图 1.7 串电阻调速转子电路示意



图 1.8 变频调速原理

## 7. 调速方式汇总

根据实际应用效果,将交流电动机的各种调速方式的一般特性和特点汇总于表 1.1 之中。

表 1.1 调速方式的一般特性和特点

调速方式	转子串电阻	定子调压	电磁离合器	液力耦合器	液粘离合器	变极	串级	变频
调速方法	改变转子串电阻	改变定子输入调压	改变离合器励磁电流	改变耦合器工作腔充油量	改变离合器摩擦片间隙	改变定子极对数	改变逆变器的逆变角	改变定子输入频率和电压
调速性质	有级	无级	无级	无级	无级	有级	无级	无级
调速范围	50% ~ 100%	80% ~ 100%	10% ~ 80%	30% ~ 97%	20% ~ 100%	2,3,4 挡转速	50% ~ 100%	5% ~ 100%
响应能力	差	快	较快	差	差	快	快	快
电网干扰	无	大	无	无	无	无	较大	有
节电效果	中	中	中	中	中	高	高	高



续表

调速方式	转子串电阻	定子调压	电磁离合器	液力耦合器	液粘离合器	变极	串级	变频
初始投资	低	较低	较高	中	较低	低	中	高
故障处理	停车	不停车	停车	停车	停车	停车	停车	不停车
安装条件	易	易	较易	场地	场地	易	易	易
适用范围	绕线型异步机	绕线型异步机、笼型异步机	笼型异步机	笼型异步机、同步电动机	笼型异步机、同步电动机	笼型异步机	绕线型异步机	异步电动机、同步电动机

1.2.3 变频调速原理

交流电动机不论三相异步电动机还是三相同步电动机,其转速  $N$  的公式均为

$$N_0 = 60f/p \text{ (同步电动机)} \quad N = N_0(1 - s) = 60f/p(1 - s) \text{ (异步电动机)}$$

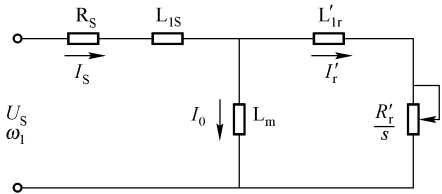
式中,  $f$  表示频率;  $p$  表示极对数;  $s$  表示转差率(0% ~ 3% 或 0% ~ 6%)。

由转速公式可见,只要设法改变三相交流电动机的供电频率  $f$ ,就可十分方便地改变电动机的转速  $N$ ,比改变极对数  $p$  和转差率  $s$  两个参数简单得多。特别是近二十多年来,交流变频调速器得到了突飞猛进的发展,使得三相交流电动机变频调速成为当前电气调速的主流。

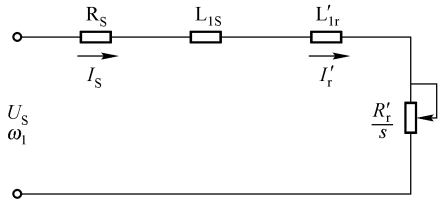
实际上仅仅改变电动机的频率并不能获得良好的变频特性。例如,标准设计的三相异步电动机,380V,50Hz,如果电压不变,只改变频率,会产生什么问题? 380V 不变,频率下调 (<50Hz),会使电动机气隙磁通  $\Phi$  (约等于  $V/f$ ) 饱和;反之,380V 不变,频率向上调 (>50Hz),则使磁通减弱。所以,真正应用变频调速时,一般需要同时改变电压和频率,以保持磁通基本恒定。因此,变频调速器又称为 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 装置。

1. 感应电动机稳态模型

根据电机学原理,在下述三个假定条件下(忽略空间和时间谐波,忽略磁饱和,忽略铁损),感应电动机的稳态模型可以用 T 型等效电路表示,如图 1.9 (a) 所示。



(a) 感应电动机T型等效电路



(b) 感应电动机简化等效电路

图 1.9 感应电动机等效电路



图 1.9(a) 中各参数定义如下。

$R_s$ 、 $R'_r$ ——定子每相电阻和折合到定子侧的转子每相电阻；

$L_{1s}$ 、 $L'_{1r}$ ——定子每相漏感和折合到定子侧的转子每相漏感；

$L_m$ ——定子每相绕组产生气隙主磁通的等效电感,即励磁电感；

$U_s$ 、 $\omega_1$ ——定子相电压和供电角频率；

$I_s$ 、 $I'_r$ ——定子相电流和折合到定子侧的转子相电流。

忽略励磁电流,则得到如图 1.9(b) 所示的简化等效电路。

因此,电流公式可表示为

$$I_s \approx I'_r = \frac{U_s}{\sqrt{\left(R_s + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2}}$$

已知感应电动机传递的电磁功率  $P_m = \frac{3I'^2_r R'_r}{s}$ , 同步机械角速度  $\omega_{m1} = \omega_1 / n_p$ , 则感应电动机的电磁转矩为

$$T_e = \frac{P_m}{\omega_{m1}} = \frac{3I'^2_r R'_r}{s} \cdot \frac{n_p}{\omega_1} = \frac{3U_s^2 n_p R'_r}{s \left[ \left(R_s + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2 \right] \omega_1}$$

感应电动机的每极气隙磁通为

$$\Phi_m = \frac{E_g}{4.44 f_1 N_s K_{NS}} \approx \frac{U_s}{4.44 f_1 N_s K_{NS}}$$

式中  $E_g$ ——气隙磁通在定子每相中感应电动势的有效值；

$f_1$ ——定子频率；

$N_s$ ——定子每相绕组串联匝数；

$K_{NS}$ ——定子基波绕组系数。

忽略定子电阻和漏磁感抗压降,则认为定子相电压  $U_s = E_g$ 。

用  $T_e$  公式对  $s$  求导,并令  $dT_e / ds = 0$ , 可求出对应于最大转矩时的临界静差。

$$s_m = \frac{R'_r}{\sqrt{R_s^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2}}$$

最大转矩为

$$T_{e \max} = \frac{3U_s^2 n_p}{2\omega_1 \left[ R_s + \sqrt{R_s^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2} \right]}$$

## 2. 转速开环的感应电机变压变频调速(VVVF)

变压变频调速是改变同步转速的调速方法,同步转速随频率而变化,为了达到良好的控制效果,常采用电压-频率协调控制( $V/f$ 控制),并分为基频(额定频率)以下和基频以上两种情况。

(1) 基频以下调速。以便充分利用电动机铁芯,发挥电动机产生转矩的能力,在基频以下采用恒磁通控制方式,要保持  $\Phi_m$  不变,当频率  $f_1$  从额定值  $f_{1n}$  向下调节时,必须同时降低  $E_g$ ,即



采用电动势频率比为恒值的控制方式。然而,绕组中的感应电动势是难以直接控制的,当电动势值较高时,可以忽略定子电阻和漏磁感抗压降,而认为定子相电压  $U_s \approx E_g$ ,则得

$$\frac{E_g}{f_1} = \text{常值}$$

这是恒压频比的控制方式,其控制特性如图 1.10 所示。

低频时,  $U_s$  和  $E_g$  都较小,定子电阻和漏磁感抗压降所占的份量相对较大,可以人为地抬高定子相电压  $U_s$ ,以便补偿定子压降,称做低频补偿或转矩提升。

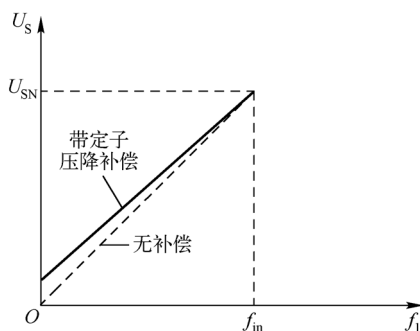


图 1.10 恒压频比控制特性

(2) 基频以上调速。在基频以上调速时,频率从  $f_{in}$  向上升高,但定子电压  $U_s$  却不能超过额定电压  $U_{SN}$ ,只能保持  $U_s = U_{SN}$  不变,这将使磁通与频率成反比下降,使得感应电动机工作在弱磁状态。

把基频以下和基频以上两种情况的控制特性画在一起,如图 1.11 所示。如果电动机在不同转速时所带的负载都能使电流达到额定值,即都能在允许温升下长期运行,则转矩基本上随磁通变化而变化。按照电力拖动原理,在基频以下,磁通恒定,转矩也恒定,属于“恒转矩调速”性质;而在基频以上,转速升高时磁通恒减小,转矩也随着降低,基本上属于“恒功率调速”。

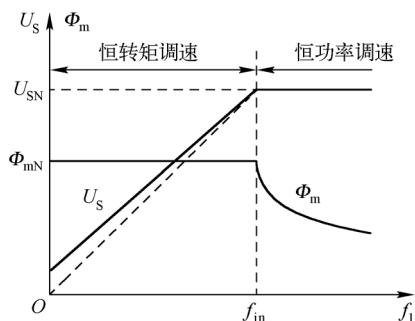


图 1.11 感应电动机变压变频调速的控制特性

### 3. 恒压频比时的机械特性

基频以下须采用恒压频比控制,感应电动机的电磁转矩为



$$T_e = 3n_p \left( \frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{s\omega_1 R'_r}{[(sR_s + R'_r)^2 + s^2\omega_1^2(L_{1s} + L'_{1r})^2]}$$

当  $s$  很小时,可忽略上式分母中含  $s$  的各项,则

$$T_e \approx 3n_p \left( \frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{s\omega_1}{R'_r} \propto s$$

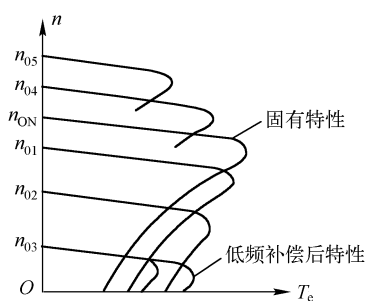
由此可以推导出带负载时的转速降落  $\Delta n$  为

$$\Delta n = sn_1 = \frac{60}{2\pi n_p} s\omega_1 \approx \frac{10}{\pi n_p^2} \frac{R'_r T_e}{\left( \frac{U_s}{\omega_1} \right)^2} \propto T_e$$

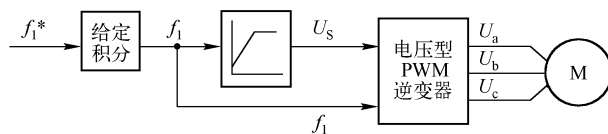
由此可见,当  $U_s/\omega_1$  为恒值时,对于同一转矩  $T_e$ ,  $\Delta n$  基本不变。这就是说,在恒压频比的条件下改变频率  $\omega_1$  时,机械特性基本上是平行下移,如图 1.12(a) 所示。将最大转矩改写为

$$T_{e\max} = \frac{3n_p}{2} \left( \frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{1}{\left[ \frac{R_s}{\omega_1} + \sqrt{\left( \frac{R_s}{\omega_1} \right)^2 + (L_{1s} + L'_{1r})^2} \right]}$$

可见最大转矩  $T_{e\max}$  是随着  $\omega_1$  的降低而减小的。频率很低时,  $T_{e\max}$  很小,电动机带载能力减弱,采用低频定子压降补偿,适当地提高电压  $U_s$ ,可以增强带载能力。



(a) 感应电动机变压变频调速机械特性



(b) 感应电动机转速开环变压变频调速系统结构原理

图 1.12 感应电动机变压变频调速机械特性及结构原理

在基频  $f_{in}$  以上变频调速时,电压  $U_s = U_{SN}$  不变,机械特性方程式可写成

$$T_e = \frac{3U_{SN}^2 n_p R'_r}{s \left[ \left( R_s + \frac{R'_r}{s} \right)^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2 \right] \omega_1}$$

而最大转矩表达式可改写成

$$T_{e\max} = \frac{3U_{SN}^2 n_p}{2\omega_1 \left[ R_s + \sqrt{R_s^2 + \omega_1^2 (L_{1s} + L'_{1r})^2} \right]}$$



当角频率 $\omega_1$ 提高时,同步转速随之提高,最大转矩减小,机械特性上移,而形状基本不变。由于频率提高而电压不变,气隙磁通势必减弱,导致转矩减小,但转速却升高了,可以认为输出功率基本不变。

图 1.12(b)所示为感应电动机转速开环变压变频调速系统结构原理图,一般称为通用变频器,被广泛应用于调速性能要求不高的场合。为了避免突加频率设定造成的过流,在频率给定后设置了给定积分环节。由于转速开环,现场调试工作量小,使用方便,但转速有静差,低速性能欠佳。

总之, $V/f$ 控制是为了得到理想的转矩-速度特性,基于在改变电源频率进行调速的同时,又要保证电动机的磁通不变的思想而提出的,通用型变频器基本上都采用这种控制方式。 $V/f$ 控制变频器结构非常简单,但是这种变频器采用开环控制方式,不能达到较好的控制性能,而且在低频时,必须进行转矩补偿,以改变低频转矩特性。

### 1.2.4 变频器的频率给定

在使用一台变频器的时候,目的是通过改变变频器的输出频率,即改变变频器驱动电动机的供电频率从而改变电动机的转速。如何调节变频器的输出频率呢?关键是必须首先向变频器提供改变频率的信号,这个信号就称为“频率给定信号”。所谓频率给定方式,就是调节变频器输出频率的具体方法,也就是提供给定信号的方式。

#### 1. 操作器键盘给定

操作器键盘给定是变频器最简单的频率给定方式,用户可以通过变频器的操作器键盘上的电位器、数字键或上升下降键来直接改变变频器的设定频率(如图 1.13 所示)。

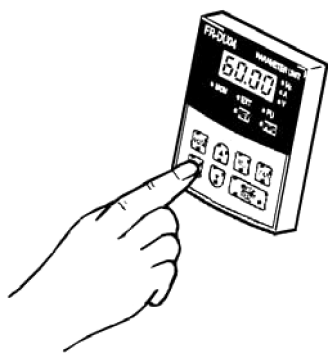


图 1.13 操作器键盘给定方式

操作器键盘给定的最大优点就是简单、方便、醒目(可选配 LED 数码显示和中文 LCD 液晶显示),同时又兼具监视功能,即能够将变频器运行时的电流、电压、实际转速、母线电压等实时显示出来。如果选择键盘数字键或上升下降键给定,则由于是数字量给定,精度和分辨率非常高,其中精度可达最高频率 $\times \pm 0.01\%$ ,分辨率为 $0.01\text{Hz}$ 。如果选择操作器上的电位器给定,则属于模拟量给定,精度稍低,但由于无须像外置电位器的模拟量



输入那样另外接线,实用性非常高。

变频器的操作器键盘通常可以取下或者另外选配,再通过延长线安置在用户操作和使用方便的地方。一般情况下,延长线可以在 5m 以下选用;如距离较远,则不能简单地加长延长线,而是必须使用远程操作器键盘。

## 2. 接点信号给定

接点信号给定就是通过变频器的多功能输入端子的 UP 和 DOWN 接点来改变变频器的设定频率值。该接点可以外接按钮或其他类似于按钮的开关信号(如 PLC 或 DCS 的继电器输出模块、常规中间继电器)。具体接线可见图 1.14。

## 3. 模拟量给定

模拟量给定方式即通过变频器的模拟量端子从外部输入模拟量信号(电流或电压)进行给定,并通过调节模拟量的大小来改变变频器的输出频率。模拟量给定中通常采用电流或电压信号,常见于电位器、仪表、PLC 和 DCS 等控制回路(如图 1.15 所示)。

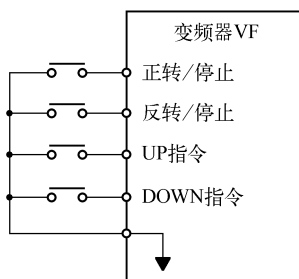


图 1.14 接点信号给定方式

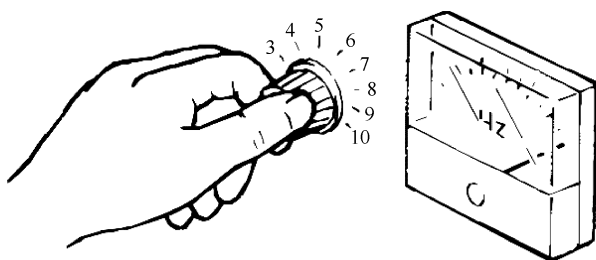


图 1.15 模拟量给定方式

电流信号一般指  $0 \sim 20\text{mA}$  或  $4 \sim 20\text{mA}$ 。电压信号一般指  $0 \sim 10\text{V}$ 、 $2 \sim 10\text{V}$ 、 $0 \sim \pm 10\text{V}$ 、 $0 \sim 5\text{V}$ 、 $1 \sim 5\text{V}$ 、 $0 \sim \pm 5\text{V}$  等。电流信号在传输过程中,不受线路电压降、接触电阻及其压降、杂散的热电效应以及感应噪声等影响,抗干扰能力较电压信号强。但由于电流信号电路比较复杂,故在距离不远的情况下,仍以选用电压给定为模拟量信号居多。

变频器通常都会有两个及以上的模拟量端子(或扩展模拟量端子),如图 1.16 所示为三菱 A500/A700 系列变频器的模拟量输入端子(端子 2、4、1 分别为电压输入、电流输入和辅助输入)。

有些模拟量端子可以同时输入电压和电流信号(但必须通过跳线或短路块进行区分),因此对变频器已经选择好模拟量给定方式后,还必须按照以下步骤进行参数设置。

- (1) 选择模拟量给定的输入通道;
- (2) 选择模拟量给定的电压或电流方式及其调节范围,同时设置电压/电流跳线,注意必须在断电时进行操作;
- (3) 选择模拟量端子多个通道之间的组合方式(叠加或切换);
- (4) 选择模拟量端子通道的滤波参数、增益参数、线性调整参数。

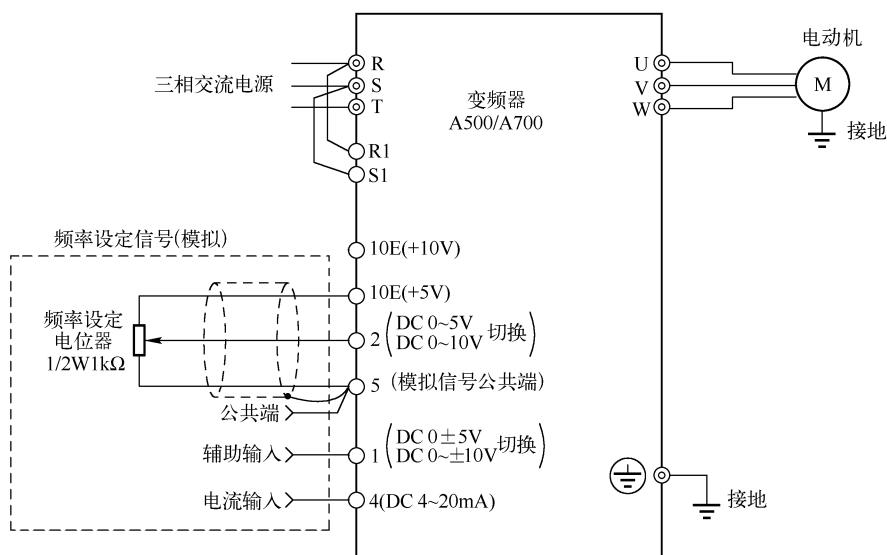


图 1.16 三菱 A500/A700 系列变频器模拟量端子

#### 4. 频率给定曲线

所谓频率给定曲线,就是指在模拟量给定方式下,变频器的给定信号  $P$  与对应的变频器输出频率  $f(x)$  之间的关系曲线  $f(x) = f(P)$ 。这里的给定信号  $P$ ,既可以是电压信号,也可以是电流信号,其取值范围在 10V 或 20mA 之内。

一般的电动机调速都是线性关系,因此频率给定曲线可以简单地通过定义首尾两点的坐标(模拟量,频率)来确定该曲线。如图 1.17(a)所示,定义首坐标为 $(P_{\min}, f_{\min})$ ,尾坐标为 $(P_{\max}, f_{\max})$ ,可以得到设定频率与模拟量给定值之间的正比关系。如果某些变频器运行工况需要频率与模拟量给定成反比关系,则也可以定义首坐标为 $(P_{\min}, f_{\max})$ ,尾坐标为 $(P_{\max}, f_{\min})$ ,如图 1.17(b)所示。

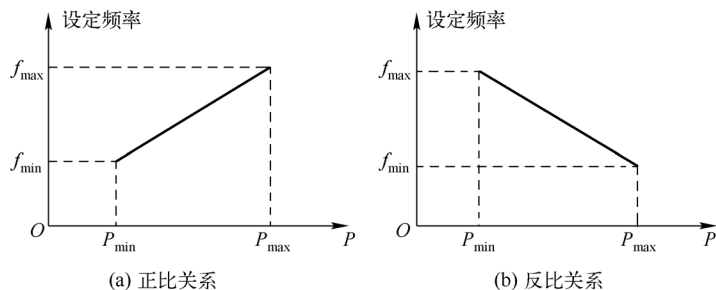


图 1.17 频率给定曲线

这里必须注意以下几点。

- (1) 如果根据频率给定曲线计算出来的设定频率超出频率上下限范围,则只能取频



率上下限值,因此,频率上下限值优先考虑。

(2) 在一些变频器参数定义中,模拟量给定信号  $P$  或设定频率  $f$  采用百分比赋值,其百分比的定义为模拟量给定百分比  $P\% = P/P_{\max} \times 100\%$  和设定频率百分比  $f\% = f/f_{\max} \times 100\%$ 。

(3) 在一些变频器参数定义中,频率给定曲线不是直接描述出来,而是通过最大频率、偏置频率和频率增益表达的。

## 5. 模拟量给定的滤波和增益参数

模拟量的滤波是为了保证变频器获得的电压或电流信号能真实地反映实际值,消除干扰信号对频率给定信号的影响。滤波的工作原理是数字信号处理,即数字滤波。滤波时间常数就是特指模拟量给定信号上升至稳定值的 63% 所需要的时间(单位为 s)。

滤波时间的长短必须根据不同的数学模型和工况进行设置,滤波时间太短,当变频器显示“给定频率”时有可能不够稳定而呈闪烁状;滤波时间太长,当调节给定信号时,给定频率跟随给定信号的响应速度会降低。一般而言,出于对抗干扰能力的考虑,需要增加滤波时间常数;处于对响应速度快的考虑,需要降低滤波时间常数。

模拟量通道的增益参数与上面的频率增益不一样,后者主要是为定义频率给定曲线的坐标值,前者则是在频率给定曲线既定的前提下,降低或提高模拟量通道的电压值或电流值。

## 6. 模拟量给定的正反转控制

一般情况下,变频器的正反转功能都可以通过正转命令端子或反转命令端子来实现。在模拟量给定方式下,还可以通过模拟量的正负值来控制电动机的正反转,即正信号(0 ~ +10V)时电动机正转,负信号(-10 ~ 0V)时电动机反转。如图 1.18 所示,10V 对应的频率值为  $f_{\max}$ , -10V 对应的频率值为  $-f_{\max}$ 。

在用模拟量控制正反转时,临界点即 0V 时应该为 0Hz,但实际上真正的 0Hz 很难做到,且频率值很不稳定,在频率 0Hz 附近时,常常出现正转命令和反转命令共存的现象,并呈“反反复复”状。为了克服这个问题,预防反复切换现象,就定义在零速附近为死区,如图 1.18 所示。

对于死区,不同类型的变频器定义都会有所不同。一般有以下两种。

(1) 线段型。如图 1.18 中所示,如定义(-1V, +1V)为死区,则模拟量信号在(-1V, +1V)范围时按零输入处理, (+1V, +10V)对应(0Hz, 最大频率), (-1V, -10V)对应(0Hz, 负的最大频率)。

(2) 滞环回线型。在变频器的输出频率定义一个频率死区( $-f_{\text{dead}}$ ,  $+f_{\text{dead}}$ ),这样一来配合着电压死区( $-U_{\text{dead}}$ ,  $+U_{\text{dead}}$ )就围成了滞环回线。

模拟量的正反转控制功能还有一种就是在模拟量非双极性功能的情况下(也就是说电压不为负的单极性模拟量)也可以实现,即定义在给定信号中间的任意值作为正转和反转的临界点(相当于原点),高于原点以上的为正转,低于原点以下的为反转。同理,也可以相应设置死区功能,实现死区跳跃。但是,在这种情况下,却存在一个特殊的问题,即万一给定信号因电路接触问题或其他原因而丢失,则变频器的输入端得到的信号为 0V,其输出频率将跳变为反转的最大频率,电动机将从正常工作状态转入高速反转状态。十分明显,在生产过程中,这种情况的出现将是十分有害的,甚至有可能损坏生产机械。对



此,变频器设置了一个有效的“零”功能。就是说,让变频器的实际最小给定信号不等于 0,而当给定信号等于 0 时,变频器的输出频率则自动降至 0 速。

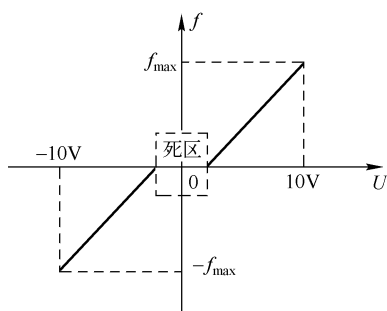


图 1.18 模拟量的正反转控制和死区功能

## 7. 脉冲给定

脉冲给定方式即通过变频器的特定的高速开关端子从外部输入脉冲序列信号进行频率给定,并通过调节脉冲频率来改变变频器的输出频率。

## 8. 通信给定

通信给定方式就是指上位机通过通信口按照特定的通信协议、特定的通信介质将数据传输到变频器以改变变频器设定频率的方式。上位机一般指计算机(或工控机)、PLC、DCS、人机界面等主控制设备,如图 1.19 所示。

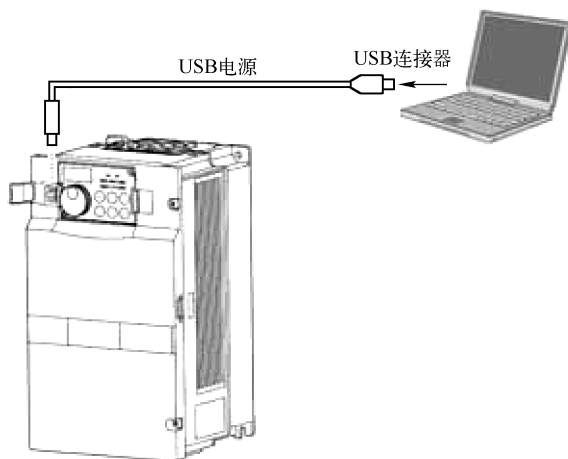


图 1.19 通信给定方式

上位机和变频器之间传输数据的方式主要有两种。

(1) 串行方式。它每次只传送二进制数的一位,主要优点是连线少,一般只有 2 根或 3 根,缺点是传送速度较低。



(2) 并行方式。它每次可传送一个完整的字符,传送速度快,但所需的连线较多,一般需要 8 根或 16 根,成本相应就高了许多。

由于上位机与变频器之间的距离一般不会太远,对传输速度的要求也不是很高,因此在通常情况下都采用串行传输方式。

### 1.2.5 变频器的运转指令

变频器的运转指令方式是指如何控制变频器的基本运行功能,这些功能包括启动、停止、正转与反转、正向点动与反向点动、复位等。与变频器的频率给定方式一样,变频器的运转指令方式也有操作器键盘控制、端子控制和通信控制三种。这些运转指令方式必须按照实际的需要进行选择设置,同时也可以根据功能进行相互之间的方式切换。

#### 1. 操作器键盘控制

操作器键盘控制是变频器最简单的运转指令方式,用户可以通过变频器的操作器键盘上的运行键、停止键、点动键和复位键来直接控制变频器的运转。在操作器键盘控制下,变频器的正转和反转可以通过正反转键切换和选择。图 1.20 所示为三菱 FR-DU04 操作器键盘控制。

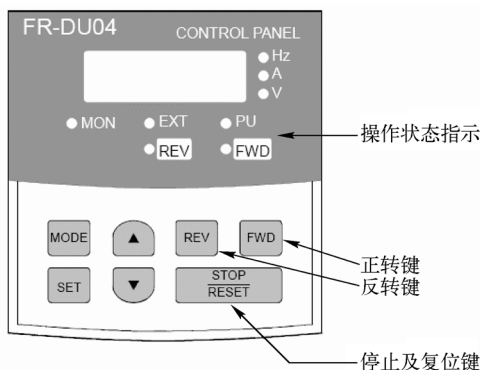


图 1.20 三菱 FR-DU04 操作器键盘控制

如果键盘定义的正转方向与实际电动机的正转方向(或设备的前行方向)相反,则可以通过修改相关的参数来更正,如有些变频器参数定义是“正转有效”或“反转有效”,有些变频器参数定义则是“与命令方向相同”或“与命令方向相反”。某些生产设备是不允许反转的,如泵类负载,变频器则专门设置了禁止电动机反转的功能参数。

#### 2. 端子控制

(1) 正转与反转。端子控制是变频器的运转指令通过其外接输入端子从外部输入开关信号(或电平信号)来进行控制的方式。这时这些按钮、选择开关、继电器、PLC 或 DCS 的继电器模块就替代了操作器键盘上的运行键、停止键、点动键和复位键,可以在远距离



来控制变频器的运转。

在图 1.21 中,正转 FWD、反转 REV、点动 JOG、复位 RESET、使能 ENABLE 在实际变频器的端子中有三种具体表现形式。

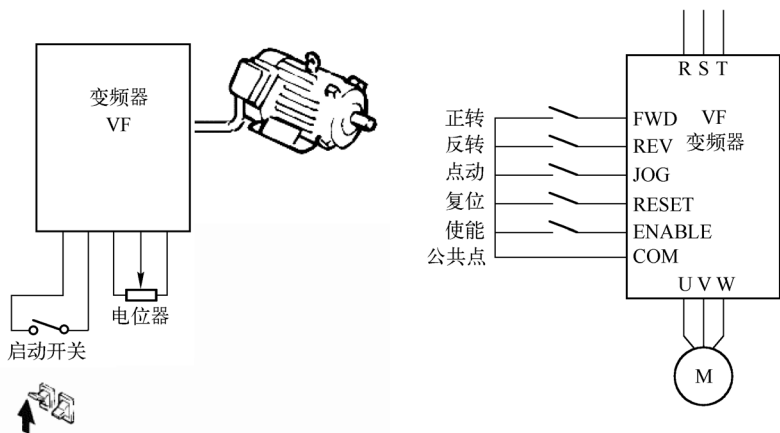


图 1.21 端子控制原理

① 上述几个功能都由专用的端子组成,即每个端子固定为一种功能。在实际接线中非常简单,不会造成误解,这在早期的变频器中较为普遍。

② 上述几个功能都由通用的多功能端子组成,即每个端子都不固定,可以通过定义多功能端子的具体内容来实现。在实际接线中非常灵活,可以大量节省端子空间。目前的小型变频器都有这个趋向,如艾默生 TD900 变频器。

③ 上述几个功能除正转和反转功能由专用固定端子实现外,其余如点动、复位、使能融合在多功能端子中来实现。在实际接线中,能充分考虑到灵活性和简单性于一体。现在在大部分主流变频器都采用这种方式。

由变频器拖动的电动机负载在实现正转和反转时功能非常简单,只需改变控制回路(或激活正转和反转)即可,而无须改变主回路。

常见的正反转控制有两种方法,如图 1.22 所示。FWD 代表正转端子,REV 代表反转端子, $K_1$ 、 $K_2$ 代表正反转控制的接点信号(“0”表示断开,“1”表示吸合)。图 1.22(a)所示方法中,接通 FWD 和 REV 的其中一个就能进行正反转控制,即 FWD 接通后正转,REV 接通后反转,若两者都接通或都不接通,则表示停机。图 1.22(b)所示方法中,接通 FWD 才能进行正反转控制,即 REV 不接通表示正转,REV 接通表示反转,若 FWD 不接通,则表示停机。

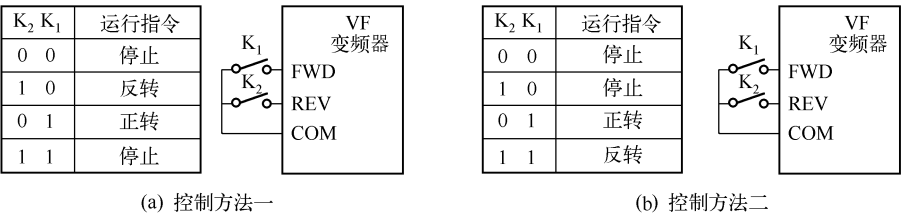


图 1.22 正反转控制原理





这两种方法在不同的变频器里有些只能选择其中的一种,有些可以通过功能设置来选择任意一种。但是如果变频器定义为“反转禁止”,则反转端子无效。

在变频器由正向运转过渡到反向运转,或由反向运转过渡到正向运转的过程中,中间都有输出零频的阶段,在这个阶段中,设置一个等待时间,即称为“正反转死区时间”,如图 1.23 所示。

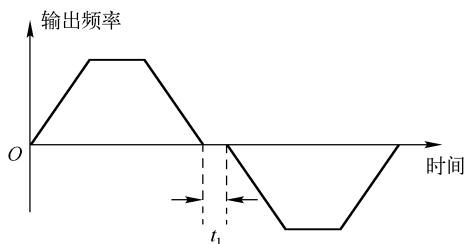


图 1.23 正反转死区时间

(2) 二线制和三线制控制模式。所谓三线制控制,就是模仿普通的接触器控制电路模式,当按下常开按钮 SB2 时,电动机正转启动,由于 X 多功能端子自定义为保持信号(或自锁信号)功能,松开 SB2,电动机的运行状态将能继续保持下去;当按下常闭按钮 SB1 时,X 与 COM 之间的联系被切断,自锁解除,电动机停止运行。如要选择反转控制,只需将 K 吸合,即 REV 功能作用(反转)。

三线制控制模式的“三线”是指自锁控制时需要将控制线接入到三个输入端子,与此相对应的就是以上讲述的“二线制”控制模式。

三线制控制模式共有两种类型,如图 1.24(a),(b)所示。两者的唯一区别是右边一种可以接收脉冲控制,即用脉冲的上升沿来替代 SB2(启动),下降沿来替代 SB1(停止)。在脉冲控制中,要求 SB1 和 SB2 的指令脉冲能够保持时间达 50ms 以上,否则为不动作。

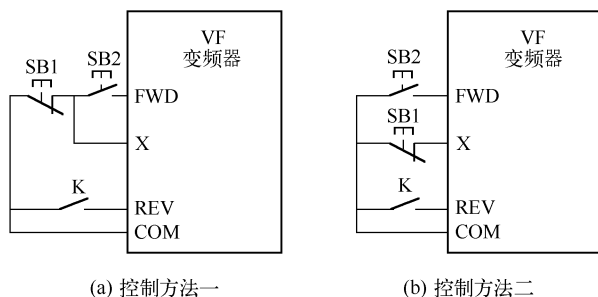


图 1.24 三线制端子控制

(3) 点动。端子控制的点动命令将比键盘操作更简单,只要在变频器运行的情况下(无论正转还是反转),都能设置单独的两个端子来实现正向点动和反向点动,其点动运行频率、点动间隔时间以及点动加减速时间跟键盘控制和通信控制方式下相同,均可在参数内设置。



3. 通信控制

通信控制的方式与通信给定的方式相同,在不增加线路的情况下,只需将上位机给变频器的传输数据改一下即可对变频器进行正反转、点动、故障复位等控制。

1.2.6 交直交变频器的基本构造

交流变频调速技术是强弱电混合、机电一体的综合性技术,既要处理巨大电能的转换(整流、逆变),又要处理信息的收集、变换和传输,因此它的共性技术必定分成功率转换和弱电控制两大部分。前者要解决与高压大电流有关的技术问题和新型电力电子器件的应用技术问题,后者要解决基于现代控制理论的控制策略和智能控制策略的硬、软件开发问题,在目前状况下主要是全数字控制技术。

通用变频器一般都采用交直交的方式,并由以下两部分组成(其基本构造造如图 1.25 所示)。

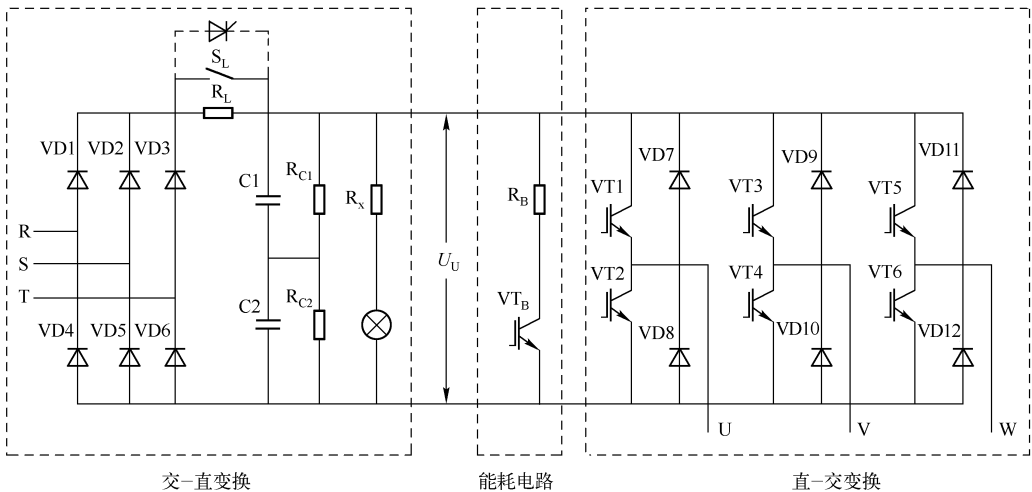


图 1.25 通用变频器的基本构造

1. 主回路

通用变频器的主回路包括整流部分、直流环节、逆变部分、制动或回馈环节等部分。

(1) 整流部分:通常又称为电网侧变流部分,用于把三相或单相交流电整流成直流电。常见的低压整流部分是由二极管构成的不可控三相桥式电路或由晶闸管构成的三相可控桥式电路。而对中压大容量的整流部分,则采用多重化 12 脉冲以上的变流器。

(2) 直流环节:由于逆变器的负载是异步电动机,属于感性负载,因此在中间直流部分与电动机之间总会有无功功率的交换,这种无功能量的交换一般都需要中间直流环节的储能元件(如电容或电感)来缓冲。

其中半导体器件一般采用 IGBT,如图 1.26 所示。IGBT 是 GTR 与 MOSFET 组成的达林顿结构,一个由 MOSFET 驱动的厚基区 PNP 晶体管, $R_N$ 为晶体管基区内的调制电阻。IGBT 的驱动原理与电力 MOSFET 基本相同,是一个场控器件,通断由栅射极电压  $u_{GE}$  决定。

导通:  $u_{\text{GE}}$  大于开启电压  $U_{\text{GE(th)}}$  时, MOSFET 内形成沟道, 为晶体管提供基极电流, IGBT 导通。

通态压降小。

关断:栅射极间施加反压或不加信号时,MOSFET 内的沟道消失,晶体管的基极电流被切断,IGBT 关断。

优点:高输入阻抗;电压控制,驱动功率小;开关频率高;饱和压降低;电压、电流容量较大,安全工作频率宽。

(4) 制动或回馈环节:由于制动形成的再生能量在电动机侧容易聚集到变频器的直流环节形成直流母线电压的泵升,需及时通过制动环节将能量以热能形式释放或通过回馈环节转换到交流电网中去。

制动环节在不同的变频器中有不同的实现方式,通常小功率变频器都内置制动环节,即内置制动单元,有时还内置短时工作制的标配制动电阻;中功率段的变频器可以内置制动环节,但属于标配或选配,需根据不同品牌变频器的选型手册而定;大功率段的变频器其制动环节大多为外置。至于回馈环节,则大多属于变频器的外置回路。

## 2. 控制回路

控制回路包括变频器的核心软件算法电路、检测传感电路、控制信号的输入/输出电路、驱动电路和保护电路。

现在以某通用变频器为例来介绍控制回路(如图 1.27 所示),它包括以下几个部分。

(1) 开关电源。变频器的辅助电源采用开关电源,具有体积小、效率高等优点。电源输入为变频器主回路直流母线电压或将交流 380V 整流,通过脉冲变压器的隔离变换和变压器副边的整流滤波,可得到多路输出直流电压。其中 +15V、-15V、+5V 共地,±15V 给电流传感器、运放等模拟电路供电,+5V 给 DSP 及外围数字电路供电。相互隔离的四组或六组 +15V 电源给 IPM 驱动电路供电。+24V 为继电器、直流风机供电。

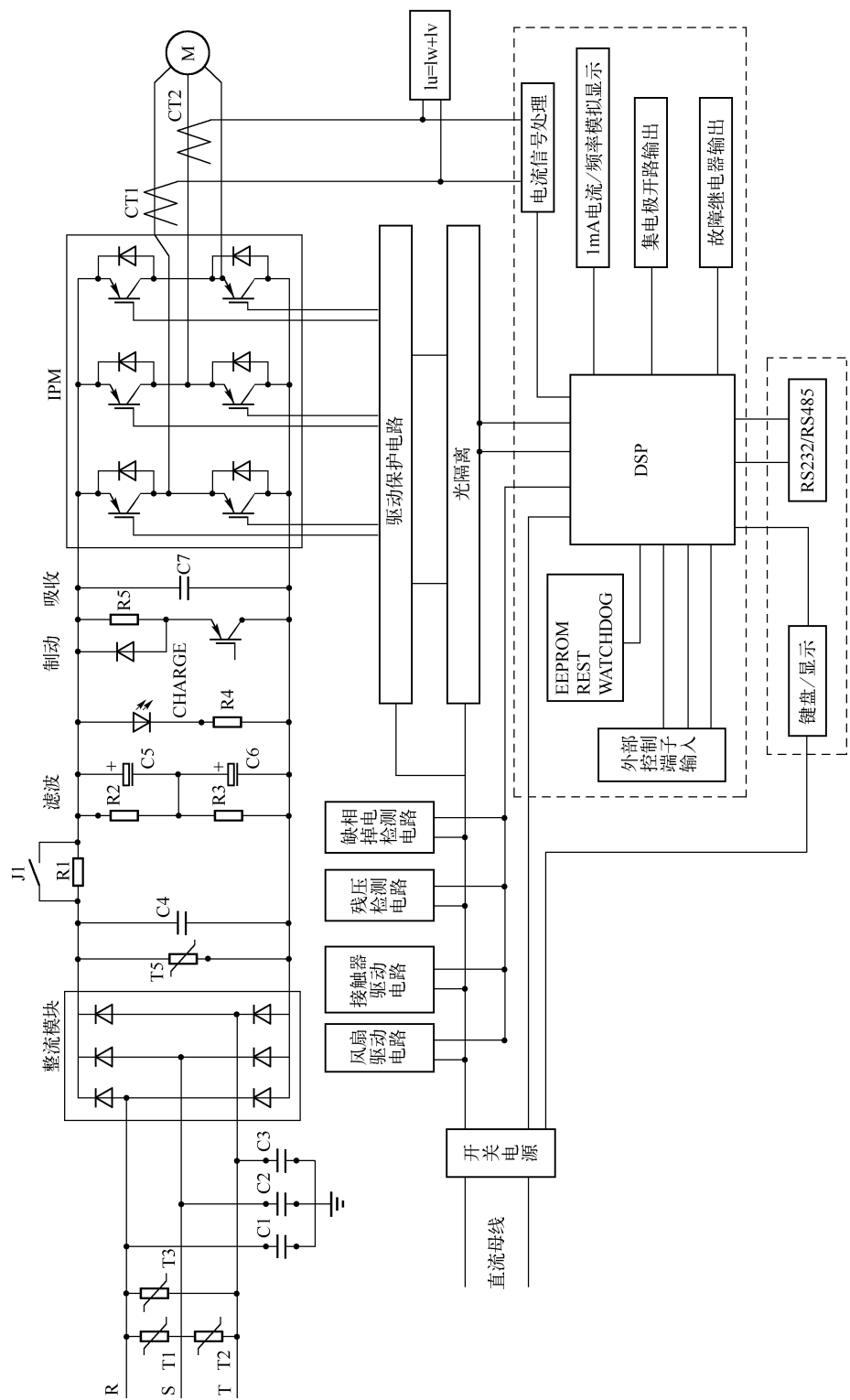


图1.27 通用变频器控制回路图



(2) DSP(数字信号处理器)。TD 系列变频器采用的 DSP 为 TMS320F240,主要完成电流、电压、温度采样,六路 PWM 输出,各种故障报警输入,电流、电压、频率设定信号输入,还完成电动机控制算法的运算等功能。

(3) 输入/输出端子。变频器控制电路输入/输出端子包括:

- ① 输入多功能选择端子、正反转端子、复位端子等。
- ② 继电器输出端子、开路集电极输出多功能端子等。
- ③ 模拟量输入端子,包括外接模拟量信号用的电源(12V、10V 或 5V)及模拟电压量频率设定输入端子和模拟电流量频率设定输入端子。
- ④ 模拟量输出端子,包括输出频率模拟量和输出电流模拟量等,用户可以选择 0 ~ 1mA 直流电流表或 0 ~ 10V 的直流电压表,显示输出频率和输出电流,当然也可以通过功能码参数进行选择输出信号。

(4) SCI 口。TMS320F240 支持标准的异步串口通信,通信波特率可达 625Kbps;具有多机通信功能,通过一台上位机可实现多台变频器的远程控制和运行状态监视功能。

(5) 操作面板部分。DSP 通过 SPI 口与操作面板相连,完成按键信号的输入、显示数据输出等功能。

## 1.3 技能训练一:三菱 A700 变频器的初步认识

### 1.3.1 三菱 A700 变频器的认识

从包装箱取出 1.5kW 三菱变频器 A700(如图 1.28 所示),检查正面盖板的容量铭牌和机身侧面的定额铭牌,确认变频器型号,查看产品是否与订货单相符,机器是否有损坏。



图 1.28 三菱 A700 变频器外观

了解三菱 A700 变频器的铭牌并进行变频器的拆装,具体步骤如下。

第一步,观察三菱 A700 变频器的铭牌(如图 1.29 所示),并从铭牌中理解三菱变频



器的命名规则(如图 1.30 所示)。

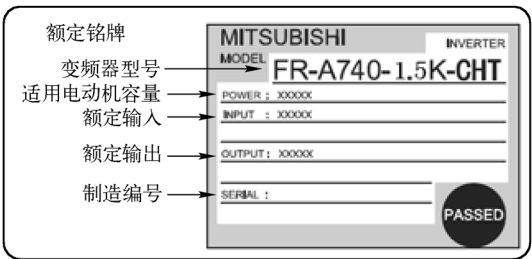


图 1.29 三菱 A700 变频器铭牌

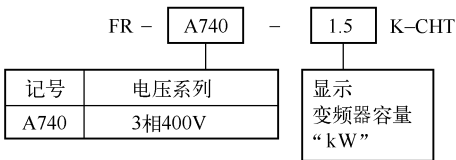


图 1.30 三菱 A700 变频器命名规则

从命名规则中可以知道,用于交流电动机传动的变频器其容量非常重要。在一般情况下,电动机容量与变频器容量必须匹配,否则会出现过流、过载等异常现象。表 1.2 所示为三菱 A700 变频器与电动机匹配对应表。

表 1.2 三菱 A700 变频器与电动机匹配对应表

适用电动机	适用变频器	适用电动机	适用变频器	适用电动机	适用变频器
0.4	FR-A740-0.4K-CHT	22	FR-A740-22K-CHT	160	FR-A740-160K-CHT
0.75	FR-A740-0.75K-CHT	30	FR-A740-30K-CHT	185	FR-A740-185K-CHT
1.5	FR-A740-1.5K-CHT	37	FR-A740-37K-CHT	220	FR-A740-220K-CHT
2.2	FR-A740-2.2K-CHT	45	FR-A740-45K-CHT	250	FR-A740-250K-CHT
3.7	FR-A740-3.7K-CHT	55	FR-A740-55K-CHT	280	FR-A740-280K-CHT
5.5	FR-A740-5.5K-CHT	75	FR-A740-75K-CHT	315	FR-A740-315K-CHT
7.5	FR-A740-7.5K-CHT	90	FR-A740-90K-CHT	355	FR-A740-355K-CHT
11	FR-A740-11K-CHT	110	FR-A740-110K-CHT	400	FR-A740-400K-CHT
15	FR-A740-15K-CHT	132	FR-A740-132K-CHT	450	FR-A740-450K-CHT
18.5	FR-A740-18.5K-CHT	150	FR-A740-160K-CHT	500	FR-A740-500K-CHT

第二步,进行变频器操作面板的拆卸与安装。

如图 1.31 所示为 A700 变频器的操作面板,也是用于变频器参数设置的主要界面。进行操作面板的拆卸时先松开操作面板的两处固定螺钉(螺钉不能卸下),然后按住操作面板左右两侧的插销,把操作面板往前拉出后卸下(如图 1.32 所示)。

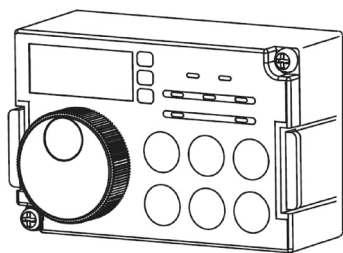


图 1.31 A700 变频器操作面板

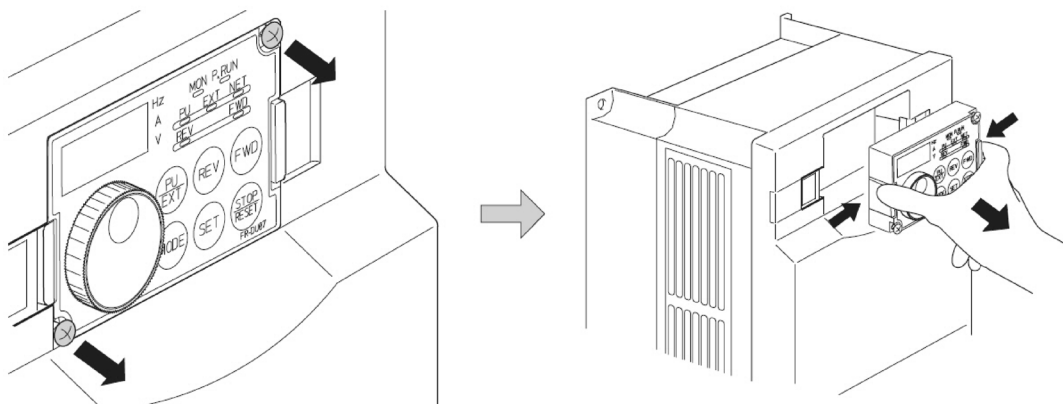


图 1.32 A700 操作面板拆卸

进行操作面板安装时,需要笔直插入并安装牢靠,然后旋紧螺钉。

第三步,进行变频器 A700 前盖板的拆卸与安装。将前盖板取下时,先旋松安装前盖板用的螺钉,一边按着表面护盖上的安装卡爪,一边以左边的固定卡爪为支点向前拉取下来,如图 1.33 所示。

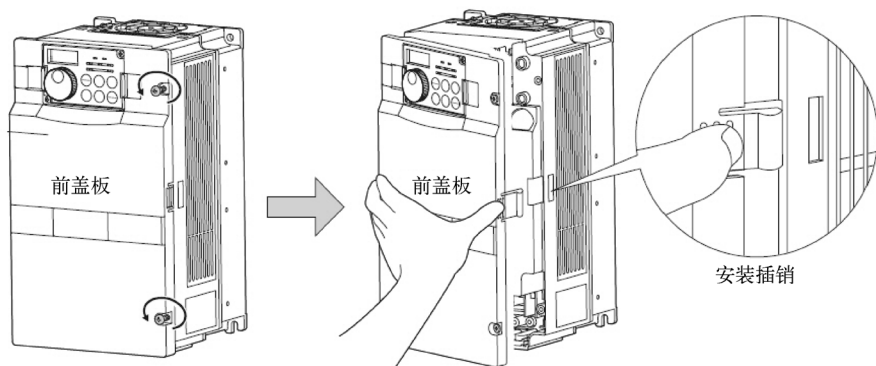


图 1.33 前盖板的拆卸

安装与拆卸时的动作相反,将表面护盖左侧的两处固定卡爪插入机体的接口,并以固定卡爪部分为支点确实地将表面护盖压进机体,最后拧紧安装螺钉。

需要注意的是,FR-A740-160K-CHT 以上的表面盖板由 1 个变成 2 个,另外在正面盖板贴有容量铭牌,在机身上也贴有额定铭牌,分别印有相同的制造编号,检查制造编号以确保将拆



下的盖板安装在原来的变频器上,以防止维修时出现不必要的混淆。

第四步,拆卸完前盖板后,按照图 1.34 所示进行主电路接线。注意,为保证电气安全,必须进行可靠接地。

在第一次简单接线中,必须注意:

- (1) 电源及电动机接线的压着端子,需要使用带有绝缘套管的端子。
  - (2) 电源一定不能接到变频器输出端上(U,V,W),否则将损坏变频器。
  - (3) 接线后,零碎线头必须清除干净。零碎线头可能造成异常、失灵和故障,必须始终保持变频器清洁。如在电气柜上打孔安装时,请注意不要使碎片粉末等进入变频器中。
  - (4) 为使线路压降控制在 2% 以内,需要用适当型号的电
- 线接线。变频器和电动机间的接线距离较长时,特别是在低频率输出情况下,会由于主电路电缆的线路下降而导致电动机的转矩下降。

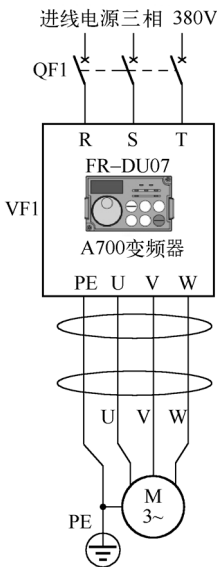


图 1.34 变频器主电路接线

1.3.2 A700 变频器 PU 操作

1. FR-DU07 操作面板的熟悉

对三菱 A700 变频器进行操作、运行、调试和维护等都首先需要熟悉操作面板 PU,如图 1.35 所示为 PU 按键和指示灯的具体功能和含义。

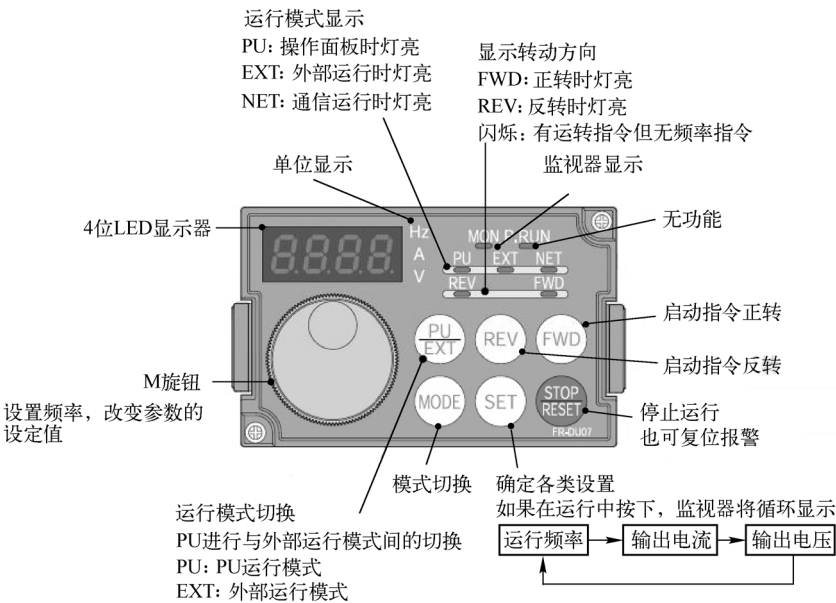


图 1.35 PU 按键和指示灯的具体功能和含义





对三菱 A700 变频器接线后上电,可以观察到操作面板(简称 PU)亮,如图 1.36 所示。



图 1.36 PU 上电显示

## 2. 运行模式切换与频率设定

运行模式切换与频率设定如图 1.37 所示。

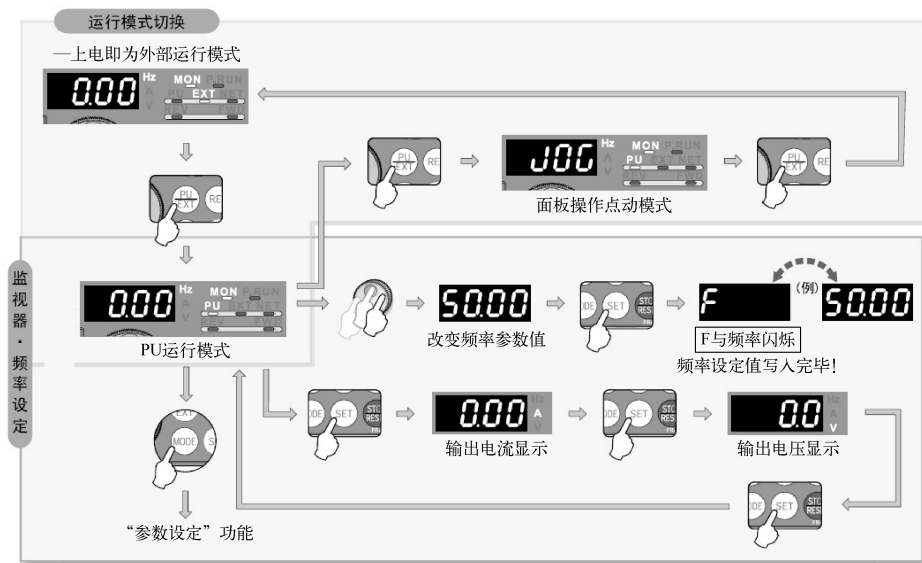


图 1.37 运行模式切换与频率设定

### 1.3.3 A700 变频器的参数设置要点

对于变频器而言,要使其正常运行,就必须对它进行一定的参数设置,并符合工艺要求。表 1.3 所示是三菱 A700 变频器的参数说明,也可以简单地用“Pr. 0 = 6%”来表示。

表 1.3 三菱 A700 变频器的参数说明

参数编号	名称	单位	设定值
Pr. 0	转矩提升	%	0



1. 参数锁定 (Pr. 77)

参数锁定功能对防止参数值被意外改写具有保护作用,因此,可以在调试结束后对 Pr. 77 进行相应设置,比如 Pr. 77 = 1 表示不可写入参数,具体如表 1.4 所示。其中“参数 Pr. 77”通常被简写为“参数 77”。

表 1.4 参数锁定

参 数	名 称	单 位	初始值	范 围	内 容
77	参数写入选择	1	0	0	仅限于停止时可以写入
				1	不可写入参数
				2	可以在所有运行模式中不受运行状态限制地写入参数

2. 初始化参数

通过设定 Pr. CL 参数清除,ALLC 参数全部清除 = “1”,使参数恢复为初始值,如图 1.38 所示。如果设定 Pr. 77 参数写入选择 = “1”,则无法清除。



图 1.38 参数初始化

参数初始化是非常重要的一个步骤,它能将所有的参数都恢复到出厂设定值。在调试变频器的参数过程中,经常会出现控制失常的现象,这时候最好的办法就是“参数初始化”,以确认到底是变频器本身原因,还是参数设置原因。



### 3. 参数更改

要使变频器按照工艺要求进行控制,必须进行参数设置,这里以参数 Pr. 1(见表 1.5)为例进行说明。

表 1.5 参数 Pr. 1 含义

参 数	名 称	单 位	初始值	范 围	内 容
1	上限频率	0.01Hz	120/60Hz	0 ~ 120Hz	设定输出频率的上限。 根据变频器容量不同而不同。 (55kW 以下/75kW 以上)


图 1.39 所示为参数 Pr. 1 从 120Hz 更改为 50Hz 的过程。



图 1.39 参数设定

### 4. 操作锁定



为防止参数变更或变频器意外启动和停止,通过设置“操作锁定”可以使操作面板的 M 旋钮、键盘操作等无效。

操作锁定的步骤为:Pr. 161 设置为“10”或“11”,然后按住  键 2s 左右,此时 M 旋钮与键盘操作均无效。

当 M 旋钮与键盘操作无效后操作面板会显示 **HOLD** 字样,在此状态下操作 M 旋钮或



键盘时也会显示 **HOLD**。

如果想使 M 旋钮与键盘操作有效,请按住  键 2s 左右。  
当然,操作锁定状态下依然有效的功能是  键引发的停止与复位。

## 1.4 技能训练二:变频器运行模式与参数设置

### 1.4.1 运行模式功能与参数 Pr. 79 的设置

对于 A700 变频器来说,运行模式的切换是通过参数 Pr. 79 来实现的。一般来讲,参数 Pr. 79 可以实现以下三种功能。

#### 1. 外部/PU 切换模式

表 1.6 所示为参数 Pr. 79 = 0、1、2 时的功能,其默认参数为 0。

表 1.6 外部/PU 切换模式

参数编号	名 称	初始值	设定范围	内 容	LED 显示 ■ :灭灯 ▬ :亮灯
79	模式选择	0	0	外部/PU 切换模式中,通过  键可以切换 PU 与外部运行模式。 电源投入时为外部运行模式	外部运行模式  PU 运行模式 
			1	PU 运行模式固定	
			2	外部运行模式固定 可以切换外部和网络运行模式	外部运行模式  网络运行模式 

#### 2. 组合运行模式

表 1.7 所示为参数 Pr. 79 = 3、4 时的功能。


#### 3. 其他模式

当 Pr. 79 = 6 时表示可以一边继续运行状态,一边实施 PU 运行、外部运行、网络运行三者之间的切换。

当 Pr. 79 = 7 时表示外部运行模式(PU 操作互锁),即当 X12 信号为 ON 时,可切换到 PU 运行模式(正在外部运行时输出停止);当 X12 信号为 OFF 时,禁止切换到 PU 运行模式。



表 1.7 组合运行模式

参数编号	名 称	初始值	设定范围	内 容	LED 显示 ■ :灭灯 □ :亮灯
79	模式选择	0	3	外部/PU 组合运行模式 1	
				运行频率	
				启动信号	
			4	用 PU (FR-DU07/ FR-PU04-CH) 设定 或外部信号输入(多 段速设定,端子 4-5 间(AU 信号 ON 时 有效))	
				外部信号输入(端子 2,4,1,JOG,多段速 选择等)	
				在 PU (FR-DU07/ FR-PU04-CH) 输入 (FWD, REV)	

## 1.4.2 A700 外部端子的接线

图 1.40 所示为外部方式的启动与停止硬件接线原理,它采用漏型逻辑(默认设置)。

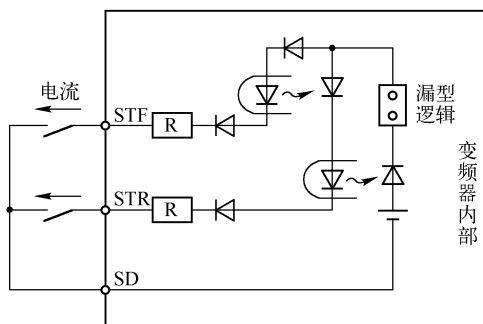


图 1.40 外部方式的启动与停止硬件接线原理

## 1.4.3 A700 外部模拟量的接线

A700 变频器共有 3 个模拟量口,其具体的端子定义如表 1.8 所示。

其中端子 1 固定为电压信号,端子 2 和 4 则可以按照图 1.41 所示进行电压与电流信号转换。



表 1.8 模拟量端子定义

端子记号	端子名称	端子功能说明	额定规格
10E	频率设定用电源	按出厂状态连接频率设定电位器时,与端子 10 连接。 当连接到 10E 时,请改变端子 2 的输入规格	DC 10V,10mA
10			DC 5V,10mA
2	频率设定(电压)	如果输入 DC 0 ~ 5V (或 0 ~ 10V,0 ~ 20mA),当输入 5V (10V, 20mA)时为最大输出频率,输出频率与输入成正比。DC 0 ~ 5V (出厂值)与 DC 0 ~ 10V,0 ~ 20mA 的输入切换用 Pr. 73 进行控制。电流输入为 0 ~ 20mA 时,电流/电压输入切换开关设为 ON	在电压输入的情况下,输入电阻 (10 ± 1) kΩ,最大许可电压 DC 20V。
4	频率设定(电流)	如果输入 DC 4 ~ 20mA (或 0 ~ 5V,0 ~ 10V),当输入 20mA 时为最大输出频率,输出频率与输入成正比。只有 AU 信号置为 ON 时此输入信号才会有效(端子 2 的输入将无效)。4 ~ 20mA (出厂值),DC 0 ~ 5V,DC 0 ~ 10V 的输入切换用 Pr. 267 进行控制。电压输入为 0 ~ 5V/0 ~ 10V 时,电压/电流输入切换开关设为 OFF。端子功能的切换通过 Pr. 858 进行设定	在电流输入的情况下,输入电阻 (245 ± 5) Ω,最大许可电流 30mA
1	辅助频率设定	输入 DC 0 ~ ± 5V 或 DC 0 ~ ± 10V 时,端子 2 或 4 的频率设定信号与这个信号相加,用参数单元 Pr. 73 进行输入 DC 0 ~ ± 5V 或 DC 0 ~ ± 10V (出厂设定)的切换。 通过 Pr. 868 进行端子功能的切换	输入电阻 (10 ± 1) kΩ,最大许可电压 DC ± 20V
5	频率设定公共端	频率设定信号(端子 2,1 或 4)和模拟输出端子 CA,AM 的公共端子,请不再接地	—

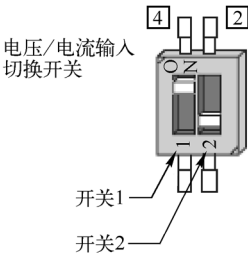


图 1.41 端子 2 和 4 的信号转换

1.4.4 A700 常见的运行模式技能操作

1. 通过模拟信号进行频率设定(电压输入)

按照图 1.42 所示接线要求,即启动命令由变频器 PU 发出,频率命令由电位器设定,进行参数设置。其操作和显示如图 1.43 所示。

2. 通过模拟信号进行频率设定(电流输入)

按照图 1.44 所示接线要求,即启动命令由变频器 PU 发出,频率命令由 4 ~ 20mA 设定,进行参数设置。其操作和显示如图 1.45 所示。

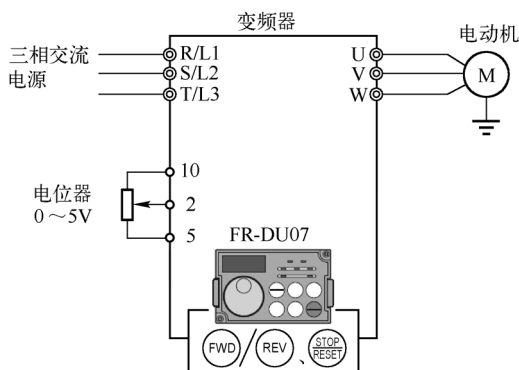


图 1.42 通过模拟信号进行频率设定(电压输入)



图 1.43 操作和显示(1)

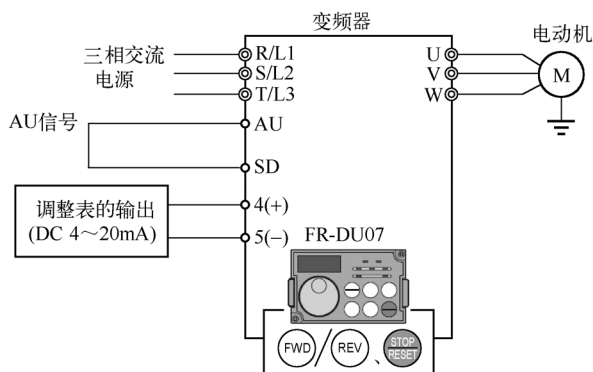


图 1.44 通过模拟信号进行频率设定(电流输入)

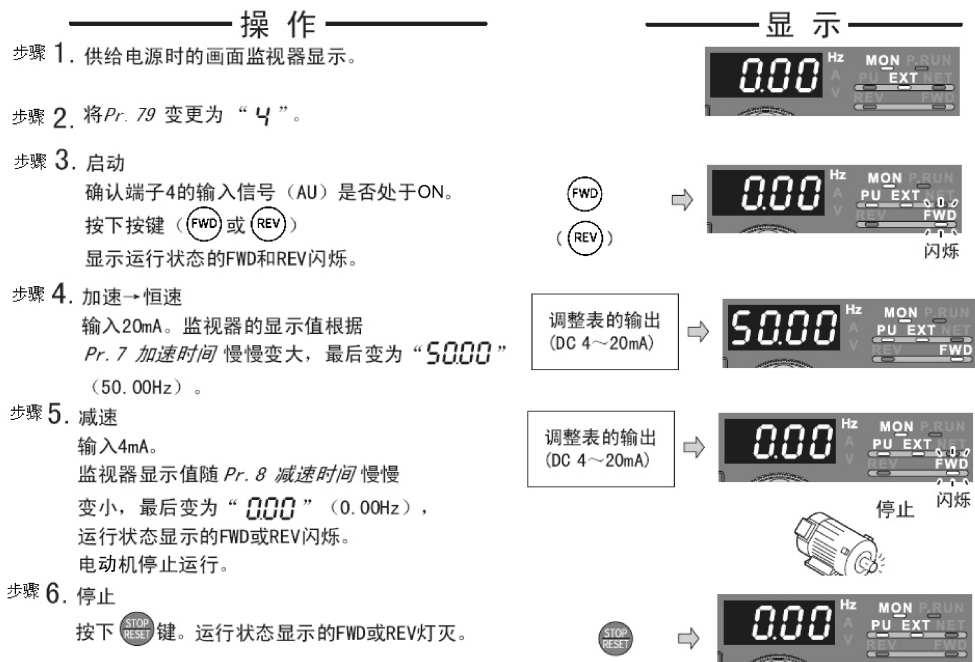


图 1.45 操作和显示(2)

3. 通过操作面板来设定频率和用外部端子来启动变频器

按照图 1.46 所示接线要求,启动指令用端子 STF (STR) –SD 置为 ON 来进行,频率给定通过 PU 面板设定。其操作和显示如图 1.47 所示。

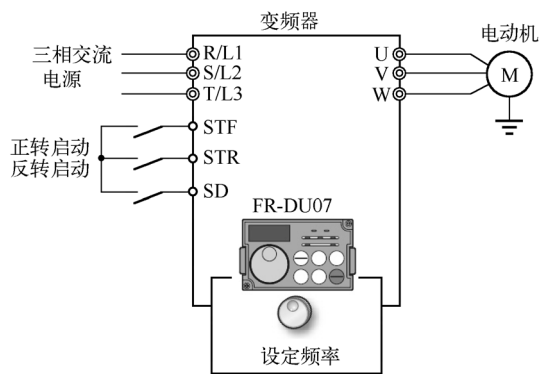


图 1.46 通过操作面板来设定频率和用外部端子来启动变频器



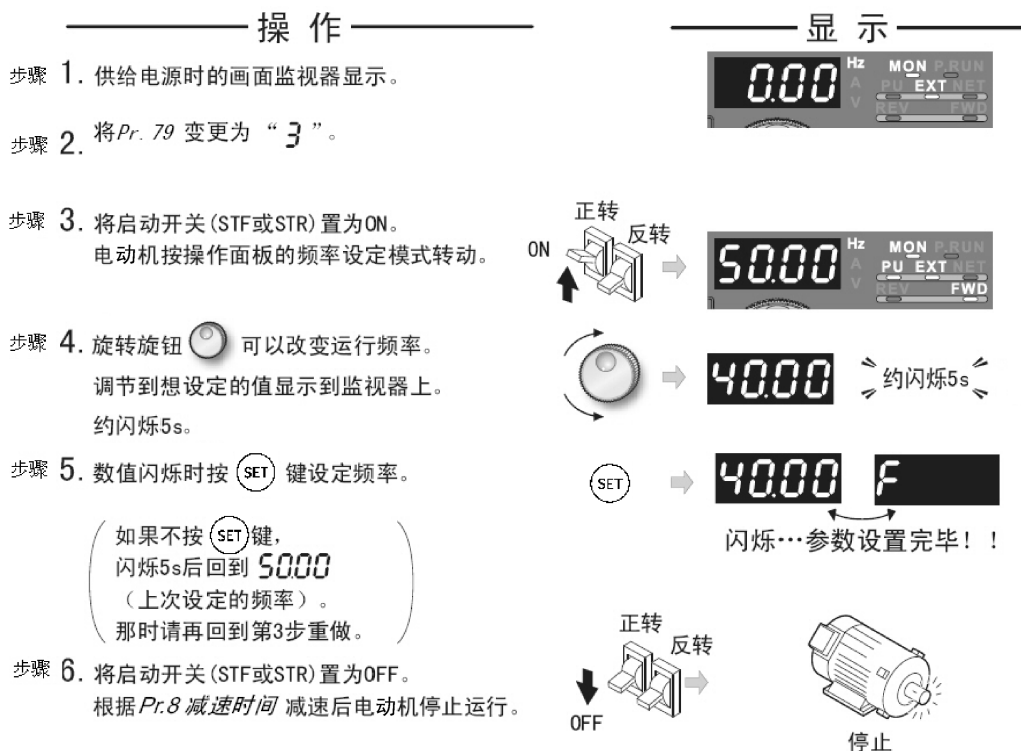


图 1.47 操作和显示(3)

## 1.5 项目设计方案

### 1.5.1 物料分拣输送带变频器的系统设计

对于物料分拣输送带变频器来说,它需要设置频率与运行指令,将运行指令设为 ON 后电动机便开始运转,同时根据频率指令(设定频率)的大小来决定电动机的转速。可以参照以下的流程图(见图 1.48),并进行相应参数的设定。

### 1.5.2 硬件设计

对物料分拣输送带控制来说,变频器型号为 FR-A740-1.5K-CHT,基本线路设计如图 1.49 所示。该输送带变频器采用 10A 断路器直接上电,不采用接触器;变频器的启停采用按钮(SB1 正转、SB2 反转和 SB3 停止)来控制;变频器的速度设定采用多圈电位器,建议采用 4.7k $\Omega$  多圈电位器。

在上电调试之前,必须要根据控制线路来选择漏型/源型逻辑和电压/电流输入。在本项目中,开关控制采用漏型逻辑,即 SINK;模拟量采用端子 2 电压输入,即 OFF。

变频控制的元器件清单如表 1.9 所示。

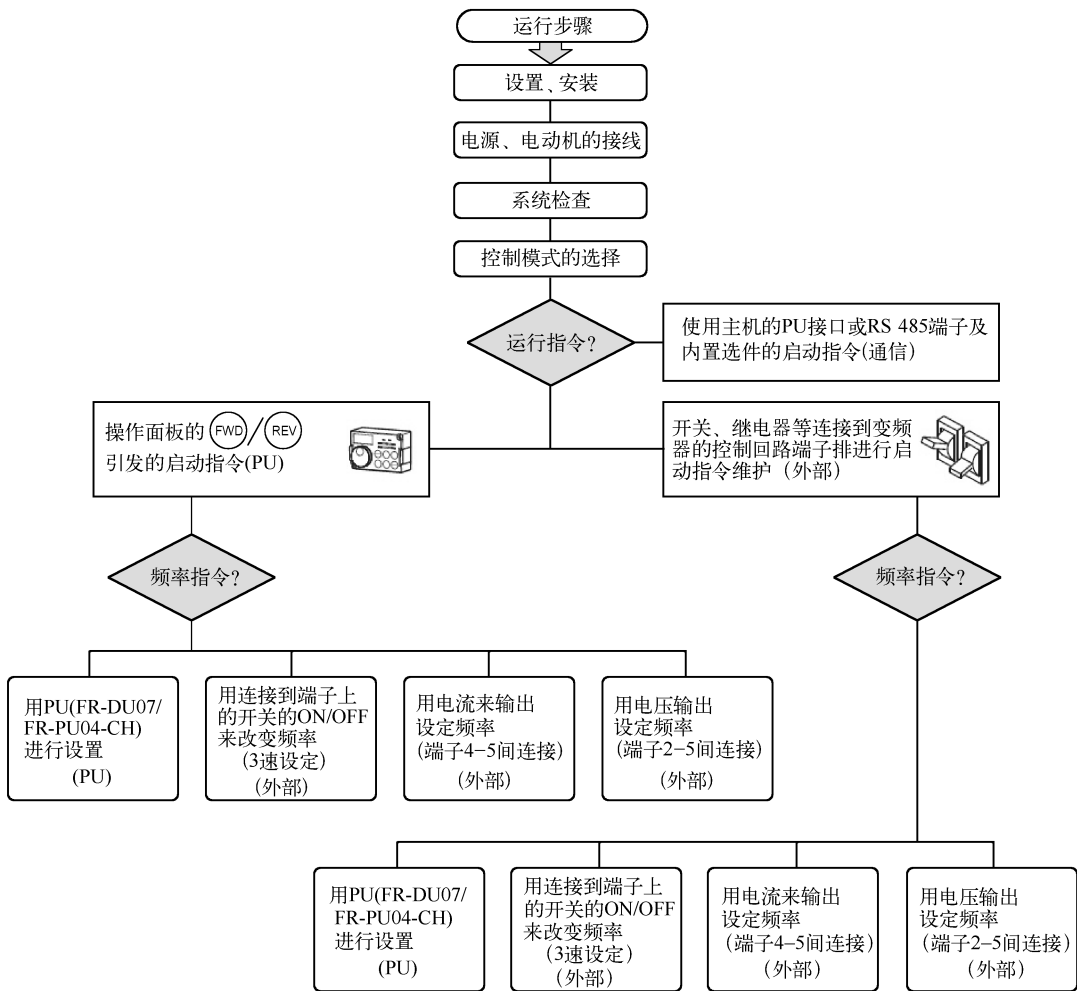


图 1.48 输送带传动变频器的应用流程图

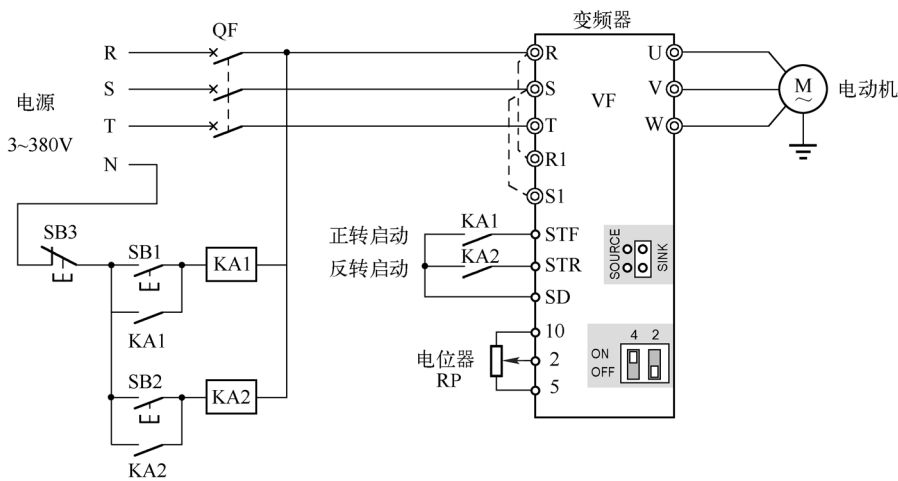


图 1.49 变频器线路设计



表 1.9 变频控制的元器件清单

名 称	符 号	规格型号
断路器	QF	DZ47-60/3P/C16 (国产正泰)
中间继电器	KA1/KA2	JZX-22F(线圈 220V AC ,2NO + 2NC)(国产正泰)
变频器	VF	FR-A740-2.2K-CHT(三菱)
按钮	SB1/SB2/SB3	LA10(国产正泰)
电位器	Rp	多圈 4.7k $\Omega$ (国产)

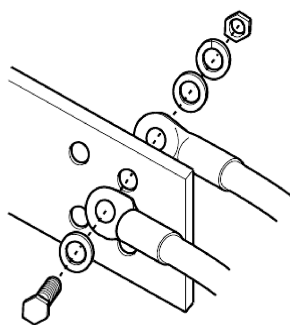
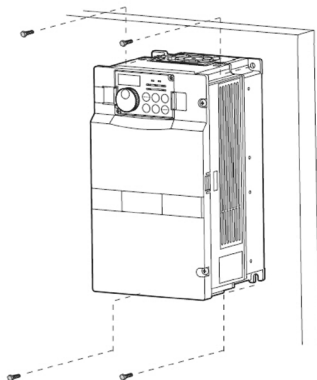


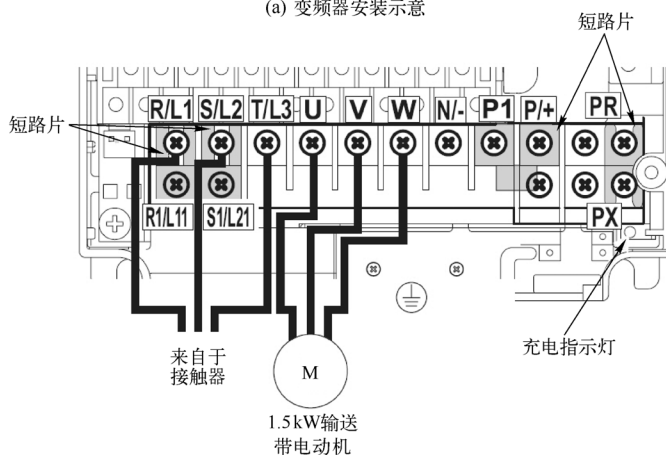
图 1.50 端子压接方式

由于物料分拣位置振动比较大,因此必须注意主电路的端子压接方式,图 1.50 所示为正确的接线方法。

变频器安装与内部接线如图 1.51 所示,需要注意的是变频器的接地问题,这是由于在变频器内有漏电流,为了防止触电,变频器和电动机必须接地。变频器接地用独立接地端子,不能用螺钉外壳、底盘等代替。变频器接地电缆尽量用粗的线径,必须等于或大于说明书所标示的最低线径值,同时接地点尽量靠近变频器,接地线越短越好(如图 1.51(c)所示)。



(a) 变频器安装示意



(b) 内部接线

图 1.51 变频器安装与内部接线

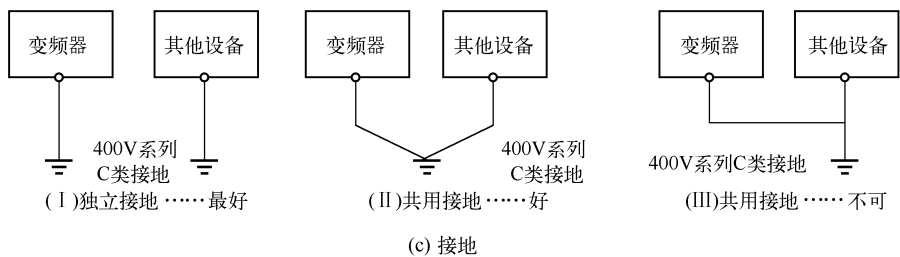


图 1.51 变频器安装与内部接线(续)

1.5.3 变频器参数设置与调试

1. 变频器上电运行

对于变频器应用来说,首先要上电进行面板操作,即在变频器上电后直接采用操作面板 PU 进行操作,图 1.52 所示就是用 M 旋钮来设定频率运行的方法。当然前提条件是:

- (1) 变频器所有的参数都进行初始化;
- (2) 变频器操作切换到 PU 运行,上电默认是外部 EXT。

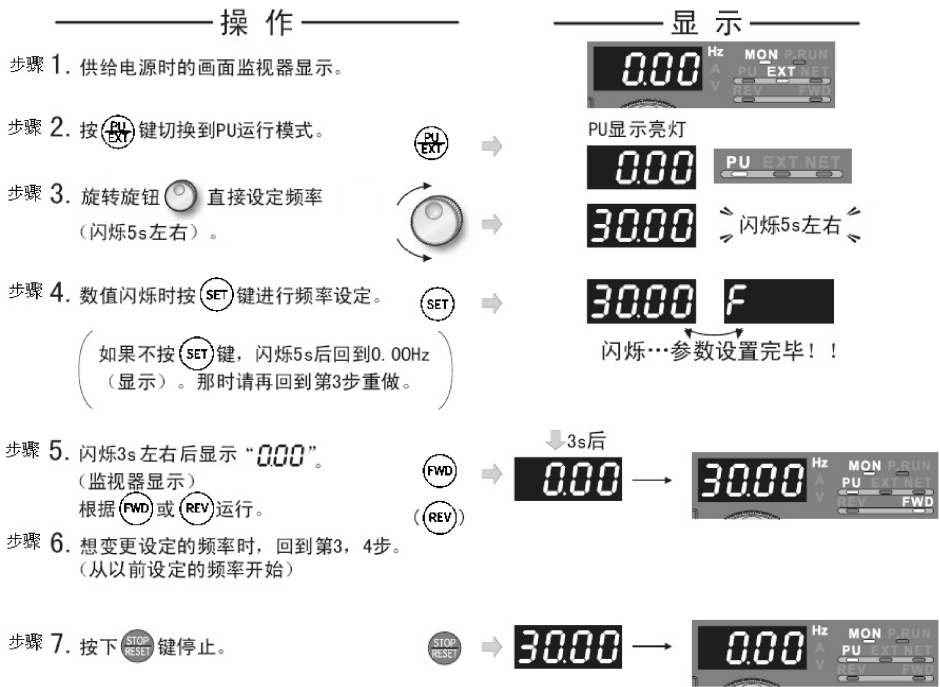


图 1.52 用 M 旋钮来设定频率运行

2. 变频器参数设置

根据物料分拣工艺要求,变频器采用外部控制方式,尤其是一上电必须直接采用外部



控制,因此必须设定  $\text{Pr. 79} = 2$ 。另外,根据“接什么线,设什么参数”的原则,对相关参数进行设置,具体如表 1.10 所示。

**注意:** 未设定参数按照变频器上电初始化默认设置,不在表中一一列出;如果所设参数仍是默认参数,表明该参数在本项目中非常重要,需要特别说明。

表 1.10 参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 1	上限频率	50Hz
Pr. 2	下限频率	0Hz
Pr. 7	加速时间	20s
Pr. 8	减速时间	20s
Pr. 73	模拟量的选择	1(端子 2 输入 0~5V)
Pr. 79	运行模式选择	2(外部模式固定)
Pr. 178	STF 功能选择	60(正转命令)
Pr. 179	STR 功能选择	61(反转命令)

## 1.6 技术答疑

**【问题 1】**在变频器 A700 的参数设置过程中,经常会出现一些错误信息,比如 **Er 1 ~ Er 4**,该如何解决呢?

错误信息的出现仅仅表示操作上的故障,并不对变频器的输出造成影响,这几个错误信息分别表示:

Er 1 表示是禁止写入错误;Er 2 表示是运行中写入错误;Er 3 表示是校正错误;Er 4 表示是模式指定出错。

这些故障的出现,必须确认 Pr. 77 参数不等于 2,且操作模式不是外部,而是在 PU 状态下。

**【问题 2】**在输送带变频调速中,有时候需要对输入的电位器进行速度调整,如何进行调整?

变频器输入的信号为 0~5V,如果把 5V 时的最大频率从 50Hz 调整到 45Hz,只需修改 Pr. 125 的设定值即可;而对于 0V 时的对应频率,则可以采用调节  $C_2$  校正参数的方式调整。具体如图 1.53 所示。

**【问题 3】**IGBT 是变频器主回路的重要部件,请问有哪些类型?

IGBT 的类型主要有 4 种,包括一单元模块(如图 1.54(a)所示)、单桥臂二单元模块(如图 1.54(b)所示)、双桥臂四单元模块(如图 1.54(c)所示)、三相桥六单元模块(如图 1.54(d)所示)。

**【问题 4】**变频器的功率模块与 IGBT 息息相关,因此 IGBT 的参数值也是变频器参数值的重要反映,它是如何描述的?

以日本英达 PDMB100B12 为例对 IGBT 的主要参数和特性进行说明,如图 1.55 所示。

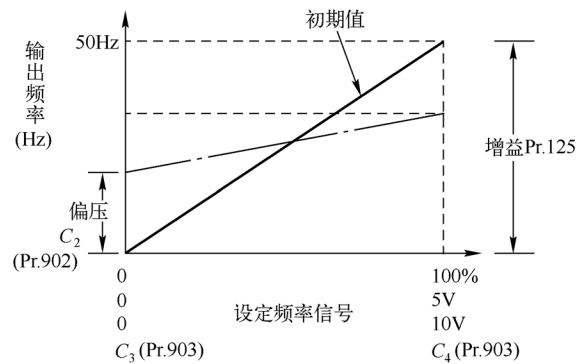
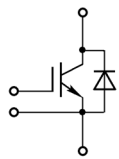
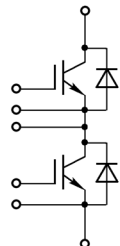


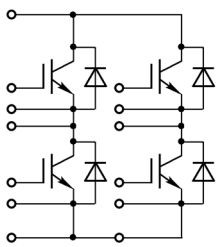
图 1.53 变频器输入模拟量校正



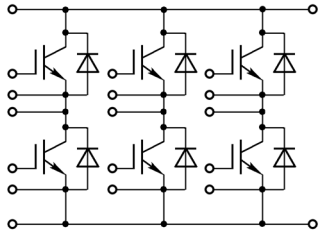
(a) 一单元模块



(b) 单桥臂二单元模块



(c) 双桥臂四单元模块



(d) 三相桥六单元模块

图 1.54 IGBT 类型

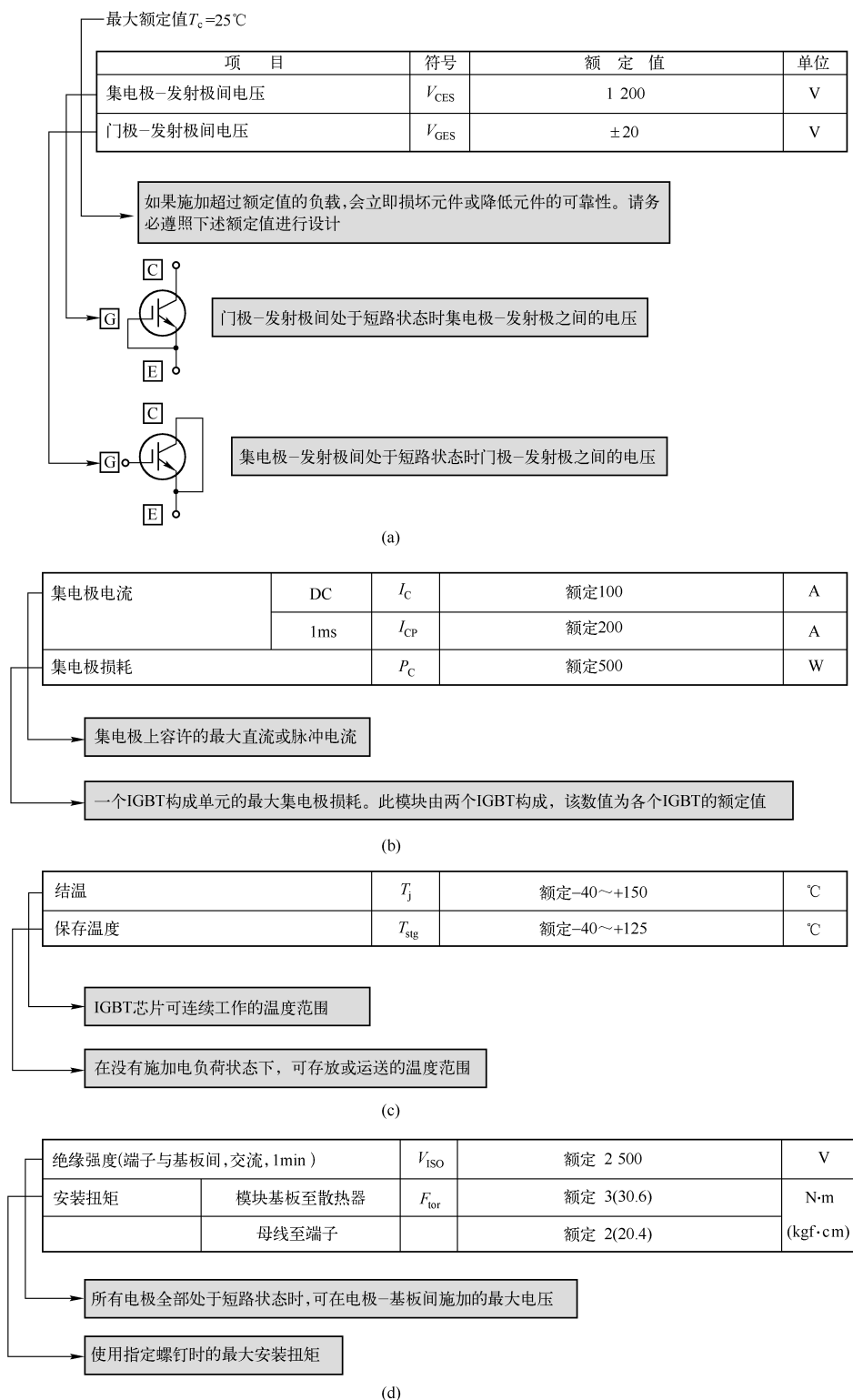


图 1.55 IGBT 的主要参数和特性

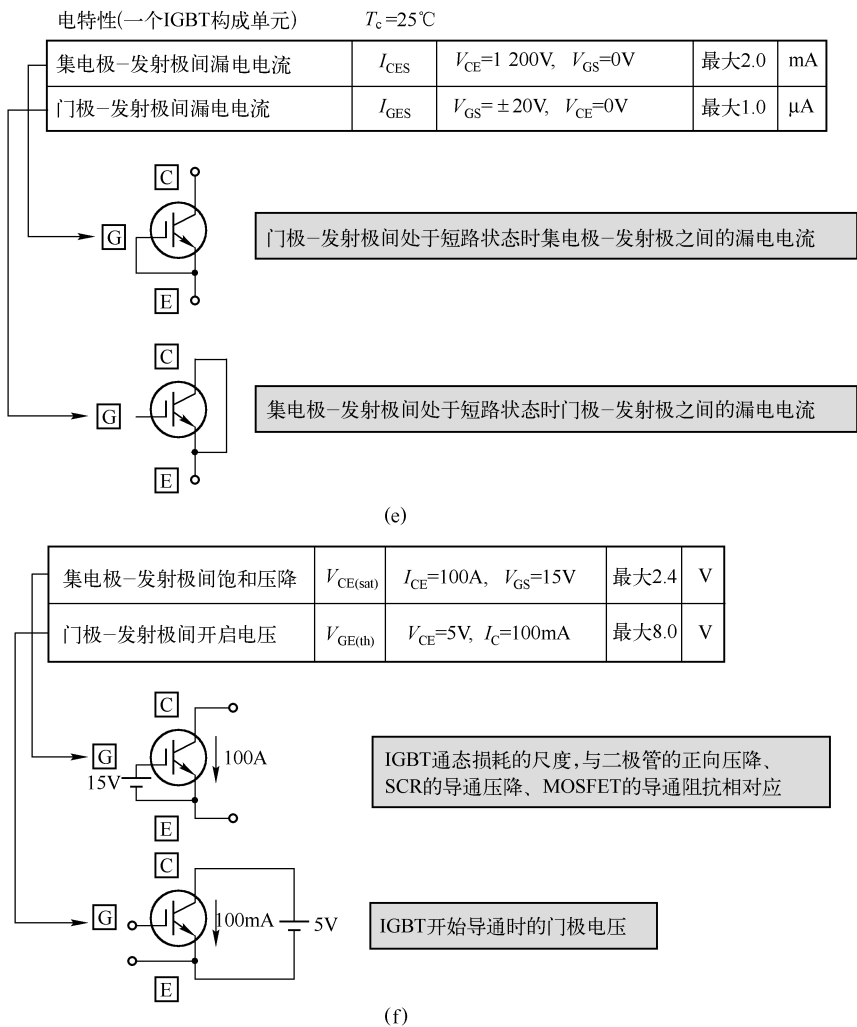


图 1.55 IGBT 的主要参数和特性(续)

## 思考与练习

习题 1.1 根据本项目的知识讲座和技能训练,并结合网络搜索来回答以下问题。

- (1) 举例说明交流电动机的调速方式种类及它们之间的区别。
- (2) 请阐述变频调速的优点和控制难点。
- (3) 请画出恒压频比控制方式下的电动机模型。

习题 1.2 请举出你身边使用变频器的情况,尝试抄下它的铭牌数据,并判断它是哪种类型的变频器。

习题 1.3 你见过哪些品牌的变频器? 它们的命名规则分别是什么?





习题 1.4 如图 1.56 所示为一食品工业用的 1.5kW 输送带,需要进行首尾两端正反转变频控制,请设计合理的控制线路,并进行参数设置。(变频器选用 A700)



图 1.56 食品工业用输送带

习题 1.5 如图 1.57 所示为一双辊涂布机, M1 和 M2 分别为控制上下辊的电动机,功率都为 2.2kW,现要求两者之间必须同速运行,速度信号来源于控制柜上的同一个电位器,启动和停止按钮也来自于该控制柜,请设计变频控制线路图,并进行参数设置。



图 1.57 双辊涂布机电动机传动



图 1.58 输送带变频控制柜

习题 1.6 三菱 A700 变频器能否进行二线制与三线制启停?如果可以的话,请分别画出各自的线路图,并进行参数设置。

习题 1.7 如图 1.58 所示,某输送带变频控制柜采用 1 台 3.7kW 三菱 A700 进行启停控制,把它安装在一控制柜内,并在其前端安装了接触器进行上电控制。控制柜面板上安装了 3 个带灯按钮,分别表示“SB1 启动按钮/运行灯亮”、“SB2 停止/停止灯亮”、“SB3 变频器上电/上电灯亮”。请设计合理的变频器控制线路图,并设置参数。

## 项目 2

# 化工厂泵与搅拌机的变频控制

化工厂中泵与搅拌机设备由于其环境恶劣、负载重,经常会出现电动机过热保护和启动转矩不够的情况,因此有必要对在  $V/f$  控制方式下的变频器实行手动转矩提升和外部热继电器输入等。本项目充分利用三菱 A700 变频器强大的  $V/f$  控制功能,实现化工厂设备的多种工艺功能。

本项目的学习目标如下。



### 知识目标

了解变频器的输入端子定义;熟悉多功能输入端子的具体内涵及接线方式;掌握  $V/f$  曲线的设置;掌握变频器不同的启动与停止方式;掌握变频器的加减曲线设置。



### 技能目标

能对变频器进行多功能端子的输入与输出接线;能熟练掌握不同负载下不同的  $V/f$  曲线设置;能进行变频器的源型和漏型接线,并正确设置跳线;能进行变频器的模拟量通道设置,并进行输入/输出接线;能对变频器进行简单的故障判断。



### 职业素养目标

从工程实训的角度出发理解不同行业对变频器有着不同的需求,掌握需求分析是介于系统分析和工程设计阶段之间的桥梁。



## 2.1 项目背景及要求

### 2.1.1 项目背景

图 2.1 所示为某化工厂的工艺流程。其工作原理为:在投料口 B01 投入粉末状的化工原料,经振动器均匀地分散后由计量式螺旋推进器 M02 送入料槽 B02;料槽中的水量通过 M03 清水泵来进行控制,同时保证液位始终稳定在相同的高度,经搅拌器 M01 的工作确保了化工原料与水的混合均匀,然后得到相对稳定浓度的溶液,并制成半成品从料槽的下端输出。

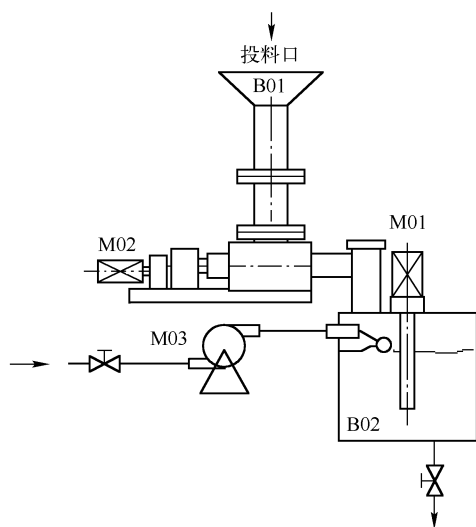


图 2.1 工艺流程

### 2.1.2 控制要求

在化工厂泵与搅拌机控制流程中,电动机 M01、M02 和 M03 需要进行变频控制,以达到一定的控制效果,具体要求如下。

- ① 对 M01、M02 和 M03 进行控制,其中 M02 和 M03 能在自动情况下跟随 M01 速度。
- ② M02 和 M03 能在手动情况下用电位器进行调速。
- ③ M01 故障后,随即停止 M02 和 M03。
- ④ 三台电动机的功率为 M01 为 3.7kW, M02 和 M03 为 2.2kW,且都必须安装热继电器。
- ⑤ 对于 M01 来说,运行频率既能设定为 2 段速度,从低到高依次为 25Hz 和 50Hz,设定方式简单快捷;也能通过电位器简单设定速度。



## 2.2 知识讲座:变频器 I/O 端子功能与 $V/f$ 控制

### 2.2.1 变频器数字量输入端子介绍

#### 1. 基本概念

数字量输入端子用于输出变频器运行状态的信号,这些信号包括待机准备、运行、故障以及其他与变频器频率有关的内容。这些数字开关量信号,在某些变频器机型中,除有些正转、反转和点动等命令为固定端子外,其余均为多功能数字量输入端子。

常见的数字量输入端子都采用光电耦合隔离方式,且应用了全桥整流电路,如图 2.2 所示,PL 是多功能输入端子 DI 的公共端子,流经 PL 端子的电流可以是拉电流,也可以是灌电流。

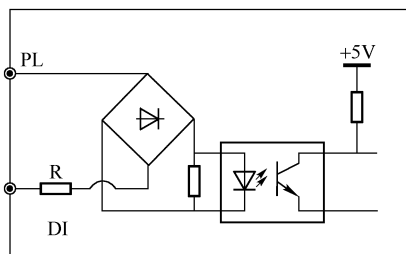


图 2.2 数字量输入结构示意图

数字量输入端子与外部接口方式非常灵活,主要有以下几种。

(1) 干接点方式。它可以使用变频器内部电源,也可以使用外部电源  $DC9 \sim 30V$ 。这种方式常见于按钮、继电器等信号源。

(2) 源极方式。当外部控制器为 NPN 型的共发射极输出的连接方式时,为源极方式。这种方式常见于接近开关或旋转脉冲编码器输入信号,用于测速、计数或限位动作等。

(3) 漏极方式。当外部控制器为 PNP 型的共发射极输出的连接方式时,为源极方式。这种方式的信号源与源极方式相同。

#### 2. 多功能输入定义

多功能数字量输入端子的信号定义包括多段速选择、多种加减速时间选择、频率给定方式切换、运转命令方式切换、复位和计数输入等。综合各类变频器的输入定义,具体有以下主要参数。

(1) 带切换或选择功能的输入信号。

① 多段速选择。通过选择这些功能的端子 ON/OFF 组合,最多可以定义 4 种(2 个



输入端子)或8种(2个输入端子)或16种(4个输入端子)速度的运行曲线。

② 多种加减速时间选择。通过选择相应数字量输入端子的 ON/OFF 组合,最多可以定义2种(1个输入端子)或4种(2个输入端子)的加减速时间值。

③ 频率给定方式切换。通过选择相应数字量输入端子的 ON/OFF 组合,可以选择操作器键盘给定、接点给定、模拟量给定、脉冲给定、通信给定中的一种,或者进行运行时的切换选择。有些变频器还增加了提供同一种给定方式下不同通道的选择功能,如一台变频器通常有2~3个模拟量通道、2个脉冲输入通道以及几个接点通道,为了在同一频率给定方式下进行不同通道的输入选择,就必须进行第二次选择。

④ 运转命令方式切换。通过选择相应数字量输入端子的 ON/OFF 组合,可以进行操作器键盘控制、端子控制和通信控制的切换或选择。有些变频器还能提供强制信号电平,保证运行命令的及时性。

⑤ 多段闭环 PID 给定值的选择。通过选择相应数字量输入端子的 ON/OFF 组合,最多可以定义2种(1个输入端子)或4种(2个输入端子)或8种(3个输入端子)的闭环给定值。

## (2) 计数或脉冲输入信号。

多功能输入端子能够接收脉冲输入信号,这些脉冲信号可以用以计数,也可以用于复位等命令,具体可定义为以下内容。

① 计数器清零信号。即对变频器的内置计数器进行清零操作。

② 计数器触发信号。该使能信号允许变频器对该数字量输入端子进行计数,脉冲的最高频率大约在几百赫兹左右,掉电时可以存储记忆当前计数值。

③ 外部复位输入。当变频器发生故障报警后,通过该端子的定义,对变频器故障进行复位,其作用与操作器键盘的 RESET 复位键一致。

④ 摆频状态复位。当选择变频器的摆频功能时,无论自动投入还是手动投入,闭合该端子将清楚变频器内部记忆的摆频状态信息。断开该端子,摆频重新开始。

⑤ 简易程序控制方式下的停机状态复位。在简易程序控制下的停机状态中,该功能端子有效时将清楚简易程序停机时记忆的运行阶段、运行时间、运行频率等信息。

⑥ 三线制定义。具体可以见前面章节。

⑦ 接点给定方式。可以在定义频率给定方式为接点给定后,定义两个端子为 UP 或 DOWN 功能。

## (3) 其他运行输入信号。

① 变频器运行禁止。该端子有效时,运行中的变频器则自由停车,若是在待机状态,则禁止启动。本功能主要用于需要安全联动的场合。

② 外部停机命令。该端子有效时,则无论变频器处于什么运转模式状态或在什么运转给定通道中,都会按照预先定义的停机方式进行停机。它与①的区别在于停机方式不同,后者只能是自由停车。

③ 外部设备故障的常开或常闭信号输入。通过该端子可以输入外部设备的故障信号,便于变频器对外部设备进行故障监视。变频器在接到外部设备故障信号后,可显示“外部故障”。该故障信号可以是常开,也可以是常闭输入方式。



④ 外部中断的常开或常闭信号输入。变频器在运行过程中,接到外部中断信号后,封锁输出,以零频运行。一旦外部中断信号解除,变频器自动转速跟踪启动,恢复运行。其输入信号也可以是常开和常闭两种输入方式。它与③的区别在于外部中断不会引起变频器的报警,中断解除后还能正常运行。

⑤ 停机直流制动输入指令。用外部控制端子对停机过程中的电动机实施直流制动,实现电动机的紧急停车和精确定位。

⑥ 简易程序控制暂停指令。用于对运行中的简易程序控制实现暂停控制,该端子有效时则以零频运行,简易程序控制不计时;该端子命令无效后,变频器自动转速跟踪启动,继续简易程序运行。

⑦ 加减速禁止指令。保持电动机不受任何外来信号的影响,除停机命令外,维持当前转速运转。

⑧ 正转点动和反向点动。通过端子的 ON/OFF 动作,让变频器按点动频率运行。按照运行方式的衍变逻辑,点动功能优先于其他运行方式。

### 3. 输入信号的防颤动功能

常见的数字量输入信号是继电器触点、按钮开关等,这些触点在闭合时容易发生颤动。又由于变频器内部接收信号的都是晶体管电路,反应速度极快。因此,输入触点的颤动有可能使变频器内部的收受电路反复接收信号而导致误动作。为此,有的变频器设置了防止输入信号颤动的功能。如西门子 440 系列变频器中,功能码 P0724 为“1”时,表示防颤动时间为 2.5ms;为“2”时,表示防颤动时间为 8.2ms;为“3”时,表示防颤动时间为 12.3ms。

## 2.2.2 变频器数字量输出端子介绍

### 1. 基本概念

数字量输出端子用于输出变频器运行状态的信号,这些信号包括待机准备、运行、故障以及其他与变频器频率有关的内容。这些数字开关量信号,除固定端子(故障输出端子)外,其余均为多功能数字量输出端子,可以通过相关的参数设定来实现数字量信号的“0”和“1”定义。

数字量输出端子的电路结构有以下几种类型。

(1) 继电器输出型。变频器内部是继电器触点,选用时必须注意继电器的触点容量,一般定义为:AC 250V/2A( $\cos\Phi=1$ )、AC 250V/1A( $\cos\Phi=0.4$ )、DC 30V/1A。根据不同的接线可以正确选择继电器输出的常开触点或常闭触点。

(2) 开路集电极输出型。变频器内部是光耦隔离输出的晶体管集电极输出,能用于直流低压(如 DC 9~30V)电路中。

由于晶体管的输出只能单方向导通,使用时必须注意外接电源的极性,如图 2.3 所示。这里还有一种特殊情况的开路集电极输出型,它通过晶体管集电极与发射极上二极



管的导向作用,其外接电路的极性可以是任意的,这是一种结构比较特殊的晶体管输出方式,如日立 SJ300 变频器。

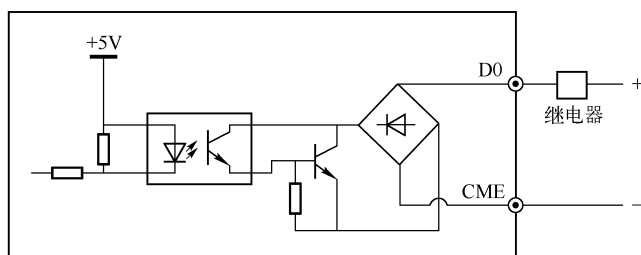


图 2.3 多功能输出端子接线

多功能输出端子可以接直流低压继电器,也可以接发光二极管或光电耦合管。但必须注意,如果驱动感性负载(如电磁继电器或接触器),则应加装浪涌电压吸收电路,如 RC 吸收电路(注意其漏电流应小于所控制接触器或继电器的保持电流)、压敏电阻或续流二极管(用于直流电磁回路,安装时注意极性),且吸收电路的元件要就近安装在继电器或接触器的线圈两端。

由于变频器通常都提供直流 24V 电源,因此在不增加额外附件的情况下,可以优先考虑使用变频器的内部电源,当然前提条件是电源容量足够。一般的变频器都能提供直流 24V 电源 200mA 的输出电流。

## 2. 多功能输出定义

多功能数字量输出端子的信号定义包括运行状态输出、运行频率特点输出、报警和故障信号输出等。综合各类变频器的输出定义,具体有以下主要参数。

### (1) 运行状态输出信号。

① 待机准备信号。在很多 DCS 和 PLC 控制中,根据变频器的待机准备信号,主控制器才能控制变频器的启停。因此,定义待机准备信号为变频器的主回路和控制回路电源建立,变频器保护功能不动作,变频器处于可运行状态时,输出 ON 信号。

② 运行中信号。即变频器处于无故障运行状态,表示变频器正在运行,有输出频率,而频率可以为零,输出 ON 信号。

③ 故障信号。即变频器发生故障时,输出 ON 信号。

④ 故障复位信号。即变频器发生故障后,经过自动复位延时,故障自动复位,并可能已处于运行状态。

⑤ 过载检出信号。变频器输出电流超过过载检出水平,并且时间大于过载检出时间,就输出指示信号。

⑥ 欠压封锁停止中。当直流母线电压低于欠压限定水平时,输出指示信号。

### (2) 运行频率特点输出信号。

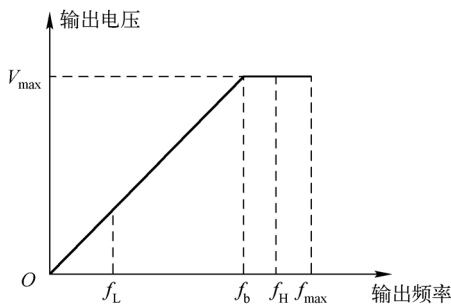
① 频率上限限制。当变频器的设定频率大于等于上限频率,且运行频率到达上限频率时,输出 ON 信号。如图 2.4 所示, $f_h$  为频率上限,可以设置小于等于最大输出频



率 $f_{\max}$ 。

② 频率下限限值。当变频器的设定频率小于等于上限频率,且运行频率到达下限频率时,输出 ON 信号。如图 2-4 所示, $f_L$  为频率下限,可以设置为零到小于等于频率上限 $f_H$  之间的任意频率。

③ 频率到达信号。如图 2.5 所示,当变频器的输出频率在设定频率的正负检出宽度内时,输出脉冲信号。



$f_H$ —频率上限; $f_L$ —频率下限;  
 $f_b$ —基本运行频率; $f_{\max}$ —最大输出频率

图 2.4 上限、下限频率示意

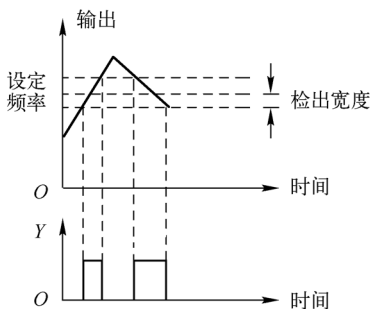


图 2.5 频率水平检测

④ 频率水平检测信号。如图 2.6 所示,当输出频率超过某一设定频率(如 FDT1 电平)时,输出指示信号,直到输出频率下降低于 FDT1 电平的某一频率(FDT1 电平 - FDT1 滞后)。

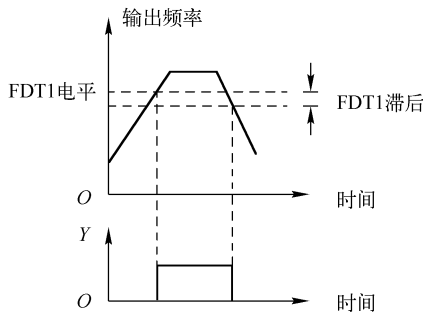


图 2.6 频率到达示意

⑤ 摆频上下限制。一旦变频器选择为摆频运行方式时(可参考第 3 章摆频内容),若以中心频率计算所得摆频的频率波动范围超过变频器的上限或低于变频器的下限,将输出指示信号。

(3) 特定运行方式输出信号。

① 简易程序运转完成指示。简易程序当前阶段完成后,输出指示信号,如单个脉冲信号,宽度为 500ms。

② 设定或指定计数值到达。设定计数值给定,指的是从多功能输入端子(定义为计数触发信号输入)输入多少个脉冲时,多功能输出端子就输出一个指示信号。





如图 2.7 所示,当输入第 8 个脉冲时,多功能输出端子就输出一个指示信号,此时应设定相应的设定计数值给定为 8。而指定计数值给定则指从多功能输入端子输入多少个脉冲时,多功能输出端子就输出一个指示信号,直到设定计数值到达为止。

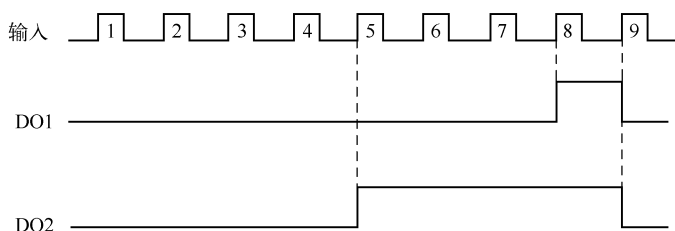


图 2.7 设定计数值和指定计数值到达

在图 2.7 中,当多功能输入端子输入第 5 个脉冲时,多功能输出端子 DO2 就开始输出一个指示信号,直到设定计数值 8 到达为止。此时,应设置相应的指定计数值给定为 5。当指定计数值比设定计数值大时,指定计数值无效。

③ 设定长度到达指示。当定义多功能输入端子为计数功能时,变频器就能对多功能输入端子的信号进行计数,一旦计数值转换成的长度值大于等于设定长度时,就输出指示信号。

④ 设定运行时间到达。当变频器累计运行时间到达设定时间时,输出指示信号。

### 2.2.3 变频器模拟量输入端子介绍

从变频器的频率给定方式我们知道模拟量给定是一种简单而实用的方式,如电位器给定或 PLC、DCS 模拟信号等;而在矢量控制和直接转矩控制中,它还可以用做限转矩和转矩控制的给定信号。

常见的模拟量输入信号为电流和电压信号,其类型与模拟量输出的信号相同。一般对于模拟量输入端子的规格是这样定义的:输入电压范围为  $0 \sim 10\text{V}$  时,输入阻抗为  $100\text{k}\Omega$ ;输入电流范围为  $0(4) \sim 20\text{mA}$  时,输入阻抗为  $500\Omega$ ;分辨率为  $1/2000$ 。

模拟量输入的接线相对简单,不再赘述。需注意的地方:

(1) 模拟量输入信号容易受外部干扰,配线时必须使用屏蔽线,并良好接地,配线长度应尽可能短。

(2) 使用模拟输入时,可在输入端子和模拟地之间安装滤波电容或共模电感。

(3) 有些模拟量输入端子,既可以接收电流信号,也可以接收电压信号,因此必须在硬件跳线或拨码开关进行设置,同时也在相关的参数中进行电压或电流信号型号选择。

模拟量输入信号一般都能进行滤波,在特殊情况下还能进行取反操作,并可调整最大、最小值。不同的变频器对模拟量输入信号值都有一个刷新周期,如 ABB ACS800 变频器为  $6\text{ms}$ 。



## 2.2.4 变频器模拟量输出端子介绍

变频器在运行过程中,如果需要知道变频器的实际运行频率,一般情况下只需在变频器的模拟量输出端子接上直流表就可以了。早期的变频器一般都只提供运行频率和运行电流两种信号,现在则可以通过对模拟量输出端子的内容进行定义,从而获得多达十几种的模拟量信号,这些信号包括频率、电流、电压等。

变频器模拟量输出信号类别主要有电压信号和电流信号。电压信号包括  $0 \sim 1\text{V}$ 、 $0 \sim 5\text{V}$ 、 $0 \sim 10\text{V}$ 、 $1 \sim 5\text{V}$ 、 $2 \sim 10\text{V}$ 、 $0 \sim \pm 10\text{V}$  等几种;电流信号包括  $0 \sim 1\text{mA}$ 、 $0 \sim 20\text{mA}$ 、 $4 \sim 20\text{mA}$ 。模拟量的输出可以调整偏置和增益来实现校正,如图 2.8 所示。

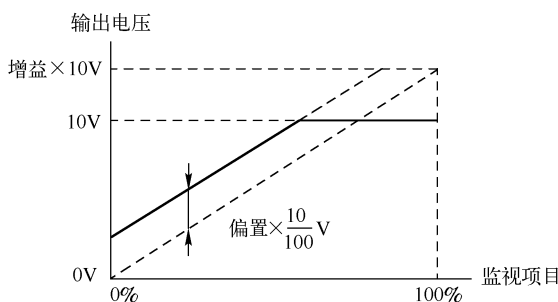


图 2.8 模拟量输出调整

在对应  $0 \sim \pm 10\text{V}$  的模拟量输出项目中,如监视值为正值时输出  $0 \sim +10\text{V}$ ,负值时输出  $0 \sim -10\text{V}$ 。

模拟量输出信号的内容可以定义为:实际运行频率、设定频率、输出电流、输出转矩、输出电压、母线电压、输出功率、内部转矩指令、模拟量输入通道值、PID 闭环的反馈值和设定值、速度调节器 ASR 的输入/输出值等。对于转矩指令值、速度调节器 ASR 值、正反转频率值等均可以输出  $0 \sim \pm 10\text{V}$  模拟信号。

模拟量输出的刷新周期相对模拟量输入来讲要偏长一些,如 ABB ACS800 为  $24\text{ms}$ 。

## 2.2.5 变频器高速脉冲输入/输出端子介绍

### 1. 高速脉冲输入

在频率给定方式中已经提到了可以用高速脉冲给定,其输入结构图类似于数字量输入端子,也是采用光耦隔离输入方式,输入阻抗标定为  $2\text{k}\Omega$  左右,输入电压随变频器的类型不同而不同,一般的高速输入脉冲可以在  $100\text{kHz}$  以下。

高速脉冲输入端子从本质来讲,也是多功能输入端子,也可以定义为以下内容。

(1) 脉冲频率输入。频率给定方式在脉冲给定方式下,该功能端子能接收脉冲信号作为频率给定。



(2) 测速输入。如控制方式为闭环  $V/f$  时,选择高速脉冲输入端子为反馈量,则可以实现速度控制精度  $\pm 0.1\%$  左右,当然需选择合适的脉冲编码器型号。

(3) 长度脉冲输入信号。变频器可以将脉冲信号转换为相应的长度信号,用于纺织等行业的定长控制。通过定义其他两个参数(测速轴每转脉冲数和轴周长)就可以计算长度。

$$\text{计算长度} = \text{计算脉冲数} \div \text{每转脉冲数} \times \text{测量轴周长}$$

并通过长度倍率和长度校正系数来对计算长度进行修正,得到实际长度。

$$\text{实际长度} = \text{计算长度} \times \text{长度倍率} \div \text{长度校正系数}$$

## 2. 高速脉冲输出

高速脉冲输出起初是作为与运行频率成比例的脉冲信号,用以接脉冲频率表用的。但是现在随着软件的更新,高速脉冲信号可以直接输出模拟量输出的常见信号,如频率、电流、电压等。

使用高速脉冲输出时,需要根据不同的负载阻抗来连接相关设备。如果负载条件不同,则有可能出现特性不满足或损坏脉冲输出端口的危险。其脉冲电压根据变频器不同定义也不同,通常为  $5 \sim 24\text{V}$ 。

在使用共集电极输出时,输出电压和负载阻抗的关系如表 2.1 所示,接线见图 2.9(a)。

表 2.1 输出电压和负载阻抗的关系

输出电压 (绝缘型) $V_{\text{RL}}$	负载阻抗
+5V 以上	1.5k $\Omega$ 以上
+8V 以上	3.5k $\Omega$ 以上
+10V 以上	10k $\Omega$ 以上

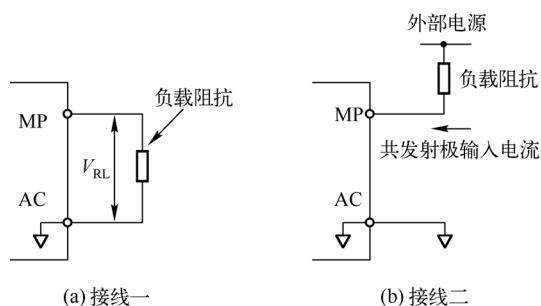


图 2.9 高速脉冲输出接线

使用共发射极输入时,如使用外部电流为直流 12V 或 15V 的外部电源,共发射极的输入电流最大不超过 16mA,如图 2.9(b) 所示。

## 2.2.6 变频器 $V/f$ 控制原理

### 1. 基本概念

我们知道,变频器  $V/f$  控制的基本思想是  $U/f = C$ ,因此定义在频率为  $f_x$  时,  $U_x$  的表达式为  $U_x/f_x = C$ ,其中  $C$  为常数,就是“压频比系数”。图 2.10 中所示就是变频器的基本运



行  $V/f$  曲线。

由图 2.10 中可以看出,当电动机的运行频率高于一定值时,变频器的输出电压不再随频率的上升而上升,就将该特定值称为基本运行频率,用  $f_b$  表示。也就是说,基本运行频率是指变频器输出最高电压时对应的最小频率。在通常情况下,基本运行频率是电动机的额定频率,如电动机铭牌上标识的 50Hz 或 60Hz。同时与基本运行频率对应的变频器输出电压称为最大输出电压,用  $V_{\max}$  表示。

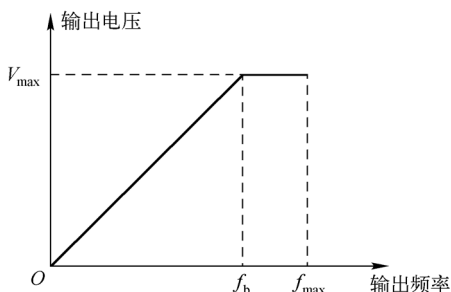


图 2.10 基本运行  $V/f$  曲线

当电动机的运行频率超过基本运行频率  $f_b$  后,  $U/f$  不再是一个常数,而是随着输出频率的上升而减小,电动机磁通也因此减小,变成“弱磁调速”状态。

基本运行频率是决定变频器的逆变波形占空比的一个设置参数,当设定该值后,变频器 CPU 将基本运行频率值和运行频率进行运算后,调整变频器输出波形的占空比来达到调整输出电压的目的。因此,在一般情况下,不要随意改变基本运行频率的参数设置,如确有必要,一定要根据电动机的参数特性来适当设值,否则,容易造成变频器过热、过流等现象。

## 2. 预定义的 $V/f$ 曲线和用户自定义 $V/f$ 曲线

由于电动机负载的多样性和不确定性,因此很多变频器厂商都推出了预定义的  $V/f$  曲线和用户自定义的任意  $V/f$  曲线。

预定义的  $V/f$  曲线是指变频器内部已经为用户定义的各种不同类型的曲线。如艾默生 EV2000 变频器有 3 种特定曲线(见图 2.11(a)),曲线 1 为 2.0 次幂降转矩特性,曲线 2 为 1.7 次幂降转矩特性,曲线 3 为 1.2 次幂降转矩特性。罗克韦尔 AB PowerFlex 400 变频器有 4 种定义的曲线(如图 2.11(b)所示),其定义的方式是在电动机额定频率一半 ( $50\%f_N$ ) 时的输出电压是电动机额定电压的 30% 时 ( $30\%V_N$ ) 为曲线 1,  $35\%V_N$  时为曲线 2,  $40\%V_N$  时为曲线 3,  $V_N$  时为曲线 4。这些预定义的  $V/f$  曲线非常适合在可变转矩(如典型的风机和泵类负载)中使用,用户可以根据负载特性进行调整,以达到最优的节能效果。

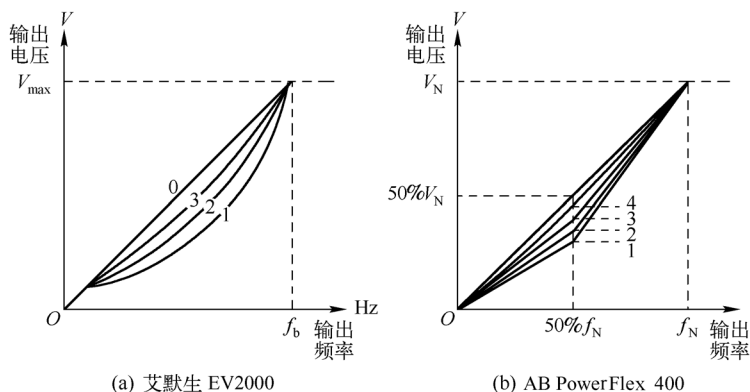


图 2.11 预定义  $V/f$  曲线



对于其他特殊的负载,如同步电动机,则可以通过设置用户自定义  $V/f$  曲线的几个参数,来得到任意  $V/f$  曲线,从而可以适应这些负载的特殊要求和特定功能。自定义  $V/f$  曲线一般都通过折线设定,典型的有三段折线和两段折线。

以三段折线设定为例(如图 2.12 所示), $f$  通常为变频器的基本运行频率,在某些变频器中定义为电动机的额定频率; $V$  通常为变频器的最大输出电压,在某些变频器中定义为电动机的额定电压。如果最大输出电压等于额定电压或者基本运行频率等于额定频率,则两者是一回事;如果两者之间数值不相等,就必须根据变频器的用户手册来确定具体的数据。图 2.12 中给出了三个中间坐标数值,即  $(f_1, V_1)$ 、 $(f_2, V_2)$ 、 $(f_3, V_3)$ ,用户只需填入相应的电压值或电压百分比,以及频率值或频率百分比即可。如果将其中的两点重合,就可以看成是二段折线设定。

虽然用户自定义  $V/f$  曲线可以任意设定,但是一旦数值设定不当,就会造成意外故障。比如说低频时转矩提升电压过高,造成电动机启动时低频抖动。所以, $V/f$  曲线特性必须以满足电动机的运行为前提条件。

### 3. $V/f$ 曲线转矩补偿

变频器在启动或极低速运行时,根据  $V/f$  曲线,电动机在低频时对应输出的电压较低,转矩受定子电阻压降的影响比较显著,这就导致励磁不足而使电动机不能获得足够的旋转力,因此需要对转矩进行补偿,这称为转矩补偿。通常的做法是对输出电压做一些提升补偿,以补偿定子电阻上电压降引起的输出转矩损失,从而改善电动机的输出转矩,如图 2.13 所示。

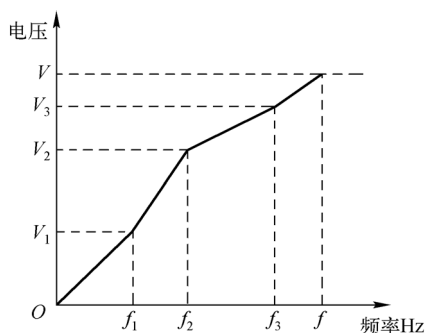


图 2.12 用户自定义  $V/f$  曲线

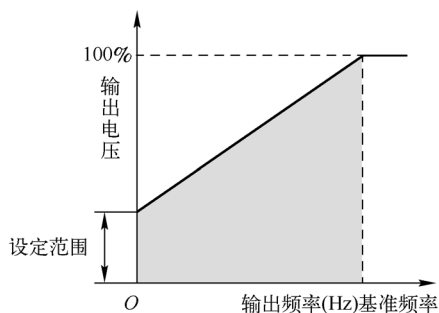


图 2.13 转矩补偿

转矩补偿可以根据变频器的参数设置选择手动和自动,如手动设置,则允许用户对设定范围可以在  $0 \sim 20\%$  或  $30\% U_{\max}$  之间任意设定;如自动设置,则是变频器根据电动机启动过程中的力矩情况进行自动补偿,其参数是随着负载变化而更改的。

### 4. 闭环 $V/f$ 控制

闭环  $V/f$  控制就是在  $V/f$  控制方式下,设置转速反馈环节。测速装置可以是旋转编码器,也可以是光电开关,安装方式比较自由,既可以安装在电动机轴上,也可以安装在其



他相关联的位置。同样,通常我们所说的不带转速反馈的  $V/f$  控制,也称为开环  $V/f$  控制。

闭环  $V/f$  控制选用速度反馈信号时可以选用一相或二相信号,一相信号如接近开关或旋转编码器的 A 相和 B 相之一。旋转编码器是一种测量旋转角度的测量器件,它集机、光、电技术于一体,通过光电转换,将角位移转换成相应的电脉冲或数字信号输出。旋转编码器通常采用两个相位差  $90^\circ$  的方波编码方式,其旋转方向由两个波形的相位差决定。旋转编码器有很多种型号,通常的速度反馈则选用增量型编码器,电动机的运动速度由一定时间内编码器所产生的脉冲信号决定。脉冲信号输出即可与变频器的 PG 接口相连接,就可以得到测量。编码器的精度由旋转一周产生方波数决定,当旋转一周可产生 2 000 个方波时,每一个方波周期表示为  $360^\circ/2\,000$ ,其最大的响应频率达到 100kHz 左右。

图 2.6 所示为旋转编码器 PG 与变频器 VF 组成的闭环  $V/f$  控制接线图。图 2.14 中,PS +/PS - 为编码器 PG 的工作电源,A + 信号为 A 相信号或 B 相信号,这里的控制方式采用一相反馈。

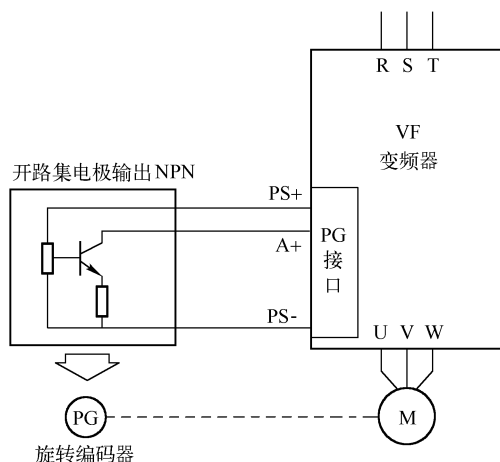


图 2.14 闭环  $V/f$  控制接线图

## 2.2.7 变频器的启动、制动

变频器的启动、制动方式是指变频器从停机状态到运行状态的启动方式,从运行状态到停机状态的方式以及从某一运行频率到另一运行频率的加速或减速方式。

变频器的启动、制动包含较多的内容,这里将逐一阐述。

### 1. 启动运行方式

变频器从停机状态开始启动运行时通常有以下几种方式。

(1) 从启动频率启动。变频器接到运行指令后,按照预先设定的启动频率和启动频率保持时间启动。该方式适用于一般的负载。



启动频率是指变频器启动时的初始频率,如图 2.15 所示的 $f_s$ ,它不受变频器下限频率的限制;启动频率保持时间是指变频器在启动过程中,在启动频率下保持运行的时间,如图中的 $t_1$ 。

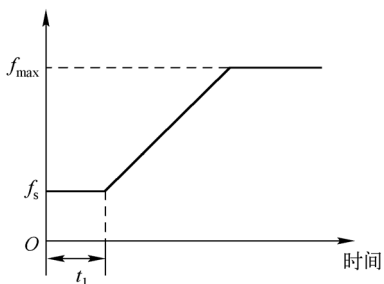


图 2.15 启动频率与启动时间示意

电动机开始启动时,并不从 0Hz 开始加速,而是直接从某一频率下开始加速。在开始加速瞬间变频器的输出频率便是上述所说的启动频率。设置启动频率是部分生产设备的实际需要,比如,有些负载在静止状态下的静摩擦力较大,难以从 0Hz 开始启动,设置了启动频率

后,可以在启动瞬间有一点冲力,使拖动系统较易启动起来;在若干台水泵同时供水的系统里,由于管理里已经存在一定的水压,后启动的水泵在频率很低的情况下将难以旋转起来,故也需要电动机在一定频率下直接启动;锥形电动机如果从 0Hz 开始逐渐升速,将导致定子和转子之间的摩擦,所以设置了启动频率,可以在启动时很快建立起足够的磁通,使转子和定子间保持一定的气隙,等等。

启动频率保持时间的设置对于下面几种情况比较适合。

- ① 对于惯性较大的负载,启动后先在较低频率下持续一个短时间 $t_1$ ,然后再加速运行到稳定频率;
- ② 齿轮箱的齿轮之间总是有间隙的,启动时容易在齿轮间发生撞击,如在较低频率下持续一个短时间 $t_1$ ,可以减缓齿轮间的碰撞;
- ③ 起重机械在起吊重物前,吊钩的钢丝绳通常处于松弛的状态,启动频率保持时间 $t_1$ 可首先使钢丝绳拉紧后再上升;
- ④ 有些机械在环境温度较低的情况下,润滑油容易凝固,故要求先在低速下运行一个短时间 $t_1$ ,使润滑油稀释后再加速;
- ⑤ 对于附有机械制动装置的电磁制动电动机,在磁抱闸松开过程中,为了减小闸皮和闸辊之间的摩擦,要求先在低速下运行,待磁抱闸完全松开后再升速。

从启动频率启动对于驱动同步电动机,尤其适合。

(2) 先制动再启动。本启动方式是指先对电动机实施直流制动,然后再按照方式(1)进行启动。该方式适用于变频器停机状态时电动机有正转或反转现象的小惯性负载,对于高速运转大惯性负载则不适合。

如图 2.16 所示为先制动再启动的功能示意,启动前先在电动机的定子绕组内通入直流电流,以保证电动机在零速的状态下开始启动。如果电动机在启动前,拖动系统的转速不为零,而变频器的输出是从 0Hz 开始上升的,则在启动瞬间,将引起电动机的过电流故障。

它包含两个参数:制动量和直流制动时间,前者表示应向定子绕组施加多大的直流电压,后者表示进行直流制动的的时间。

(3) 转速跟踪再启动。在这种方式下,变频器能自动跟踪电动机的转速和方向,对旋转中的电动机实施平滑无冲击启动,因此变频器的启动有一个相对缓慢的时间用于检测电动机的转速和方向,如图 2.17 所示。该方式适用于变频器停机状态时电动机有正转或



反转现象的大惯性负载瞬时停电再启动。

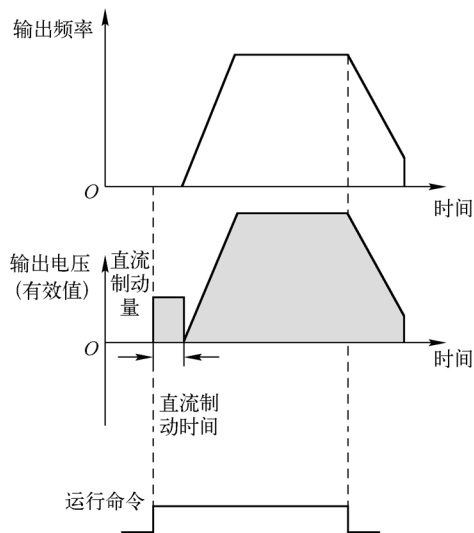


图 2.16 先制动再启动功能示意

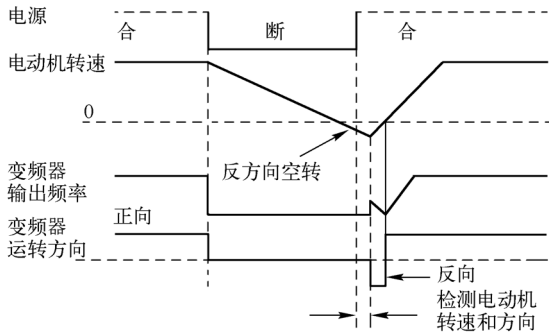


图 2.17 转速跟踪再启动功能示意

2. 加减速方式

变频器从一个速度过渡到另外一个速度的过程称为加减速,速度上升为加速,速度下降为减速。加减速方式主要有以下几种。

(1) 直线加减速。变频器的输出频率按照恒定斜率递增或递减。变频器的输出频率随时间成正比地上升,大多数负载都可以选用直线加减速方式,如图 2.18(a) 所示。加速时间为  $t_1$ ,减速时间为  $t_2$ 。

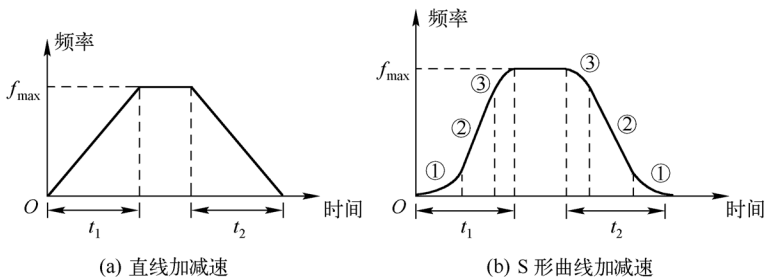


图 2.18 加减速方式

一般定义加速时间为变频器从零速加速到最大输出频率所需的时间;减速时间则相反,是变频器从最大输出频率减至零频所需的时间。

必须注意的是:

- ① 在有些变频器定义中,加减速时间不以最大输出频率  $f_{\max}$  为基准,而是固定的频率(如 50Hz);
- ② 加减速时间的单位,可以根据不同的变频器型号选择为 s 或 min;





③ 一般大功率的变频器其加减速时间相对较长;

④ 加减速时间必须根据负载要求适时调整,否则容易引起加速过流和过压、减速过流和过压故障。

(2) S 形曲线加减速。变频器的输出频率按照 S 形曲线递增或递减,如图 2.18(b)所示。

我们将 S 形曲线划分为 3 个阶段的时间,S 形曲线起始段时间如图中①所示,这里输出频率变化的斜率从零逐渐递增;S 形曲线上升段时间如图中②所示,这里输出频率变化的斜率恒定;S 形曲线结束段时间如图中③所示,这里输出频率变化的斜率逐渐递减到零。将每个阶段时间按百分比分配,就可以得到一条完整的 S 形曲线。因此,只需要知道 3 个时间段中的任意两个,就可以得到完整的 S 形曲线。在某些变频器中只定义了起始段①和上升段②,而有些变频器则定义起始段①和结束段③。

S 形曲线加减速方式非常适合于输送易碎物品的传送机、电梯、搬运传递负载的传送带以及其他需要平稳改变速度的场合。例如,电梯在开始启动以及转入等速运行时,从考虑乘客的舒适度出发,应减缓速度的变化,以采用 S 形加速方式为宜。

(3) 半 S 形加减速方式。它是 S 形曲线加减速的衍生方式,即 S 形曲线加减速在加速的起始段或结束段,按线性方式加速;而在结束段③或起始段①,按 S 形方式加速。因此,半 S 形加减速方式要么只有①,要么只有③,其余均为线性。后者主要用于如风机一类具有较大惯性的二次方律负载中,由于低速时负荷较轻,故可按线性方式加速,以缩短加速过程;高速时负荷较重,加速过程应减缓,以减小加速电流。前者主要用于惯性较大的负载。

(4) 其他还有如倒 L 形加减速方式、U 形加减速方式等。

### 3. 加减速时间的切换

通过多功能输入端子的组合来实现对不同减速时间的选择(共计 4 种)。将多功能输入端子 DI3、DI4 定义为加减速时间端子 1、加减速时间端子 2,就能按照表 2.2 中的逻辑组合实现 4 种不同加减速时间的切换,其外部接线图如图 2.19 所示。

表 2.2 加减速时间的切换

多功能输入端子 DI4	多功能输入端子 DI3	运转指令方式
OFF	OFF	加速时间 1/减速时间 1
OFF	ON	加速时间 2/减速时间 2
ON	OFF	加速时间 3/减速时间 3
ON	ON	加速时间 4/减速时间 4

### 4. 加减速时间的衔接功能

生产实践中,有时会遇到这样的情况:在拖动系统正在加速的过程中,又得到减速或停机的指令。这时,就出现了加速过程和减速过程的衔接问题。在加速过程尚未结束的情况下,得到停机指令时,变频器对减速方式的处理如图 2.20 所示。

图 2.20 中曲线①是在运行指令时间较长情况下的 S 形加速曲线;曲线②和曲线③是在加速过程尚未完成,而运行指令已经结束时的减速曲线。用户可根据生产机械的具体情况进行选择。

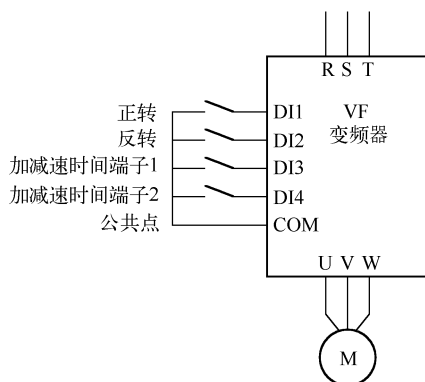


图 2.19 加减速时间切换外部接线图

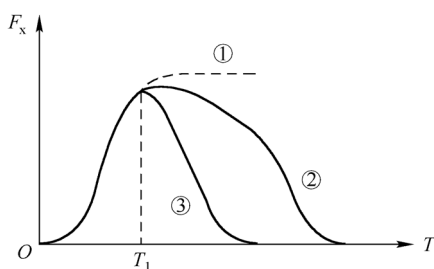


图 2.20 加减速的衔接功能

### 5. 加减速时间的最小极限功能

某些生产机械,出于特殊的需要,要求加减速时间越短越好。对此,有的变频器设置了加减速时间的最小极限功能。其基本含义是:

(1) 最快加速方式。在加速过程中,使加速电流保持在变频器允许的极限状态( $I_A \geq 150\% I_N$ ,  $I_A$  是加速电流,  $I_N$  是变频器的额定电流)下,从而使加速过程最小化。

(2) 最快减速方式。在减速过程中,使直流回路的电压保持在变频器允许的极限状态( $U_D \geq 95\% U_{DH}$ ,  $U_D$  是减速过程中的直流电压,  $U_{DH}$  是直流电压的上限值)下,从而使减速过程最小化。

(3) 最优加速方式。在加速过程中,使加速电流保持在变频器额定电流的 120% ( $I_A \geq 120\% I_N$ ),使加速过程最优化。

(4) 最优减速方式。在减速过程中,使直流回路的电压保持在上限值的 93% ( $U_D \geq 93\% U_{DH}$ ),使减速过程最优化。

其中(3)和(4)统称为自动加减速方式,它能根据负载状况,保持变频器的输出电流在自动限流水平之下或输出电压在自动限压水平之下,平稳地完成加减速过程。

### 6. 停机方式

变频器接收到停机命令后从运行状态转入到停机状态,通常有以下几种方式。

(1) 减速停机。变频器接到停机命令后,按照减速时间逐步减小输出频率,频率降为零后停机。该方式适用于大部分负载的停机。

(2) 自由停机。变频器接到停机命令后,立即中止输出,负载按照机械惯性自由停止。变频器通过停止输出来停机,这时,电动机的电源被切断,拖动系统处于自由制动状态。由于停机时间的长短由拖动系统的惯性决定,故也称为惯性停机。

(3) 带时间限制的自由停机。变频器接到停机命令后,切断变频器输出,负载自由滑行停止。这时,在运行待机时间  $T$  内,可忽略运行指令。运行待机时间  $T$  由停机指令输入时的输出频率和减速时间决定。



(4) 减速停机加上直流制动。变频器接到停机命令后,按照减速时间逐步降低输出频率,当频率降至停机制动起始频率时,开始直流制动至完全停机,如图 2.21 所示。

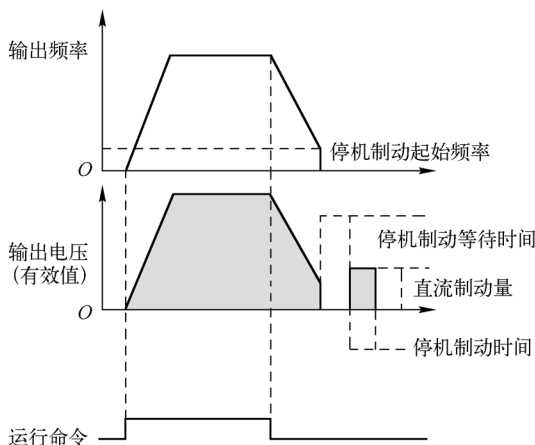


图 2.21 减速停机加直流制动

直流制动是在电动机定子中通入直流电流,以产生制动转矩。因为电动机停车后会产生一定的堵转转矩,所以直流制动可在一定程度上替代机械制动;但由于设备及电动机自身的机械能只能消耗在电动机内,同时直流电流也通入电动机定子中,所以使用直流制动时,电动机温度会迅速升高,因而要避免长期、频繁使用直流制动;直流制动是不控制电动机速度的,所以停车时间不受控。停车时间根据负载、转动惯量等的不同而不同;直流制动的制动转矩是很难实际计算出来的;直流制动需要设置的参数为:P1230 ~ P1234;使用同步电动机时,不能使用直流制动。

**直流制动强度:**在定子绕组上施加直流电压  $U_{DB}$  或直流电流  $I_{DB}$  的大小,它决定了直流制动的强度。预置直流制动电压  $U_{DB}$  (或制动电流  $I_{DB}$ ) 的主要依据是负载惯性的,惯性越大者,  $U_{DB}$  也应越大。

**直流制动时间:**施加直流制动的长短。预置直流制动时间  $t_{DB}$  的主要依据是负载是否有“爬行”现象,以及对克服“爬行”的要求,要求越高者,  $t_{DB}$  应适当长一些。

## 2.2.8 外接负载的分类

正确地把握变频器驱动的机械负载对象的机械特性(转速 - 转矩特性)是选择电动机及变频器容量,决定其控制方式的基础。机械负载种类繁多、包罗万象,但归纳起来,主要有以下 3 种:恒转矩负载、平方降转矩负载和恒功率负载。

### 1. 恒转矩负载

对于传送带、搅拌机、挤出机等摩擦负载以及行车、升降机等势能负载,无论其速度变化与否,负载所需要的转矩基本上是一个恒定的数值,此类负载就称为恒转矩负载,其特性如图 2.22(a) 所示。

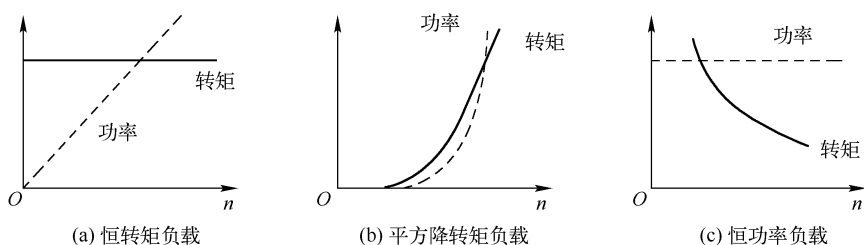


图 2.22 转速-转矩特性

例如,行车或吊机所吊起的重物,其重量在地球引力的作用下产生的重力是永远不变的,所以无论升降速度大小,在近似匀速运行条件下,即为恒转矩负载。由于功率与转矩、转速两者之积成正比,所以机械设备所需要的功率与转矩、转速成正比。电动机的功率应与最高转速下的负载功率相适应。

## 2. 平方降转矩负载

离心风机和离心泵等流体机械,在低速时由于流体的流速低,所以负载只需很小的转矩。随着电动机转速的增加,气体或液体的流速加快,所需要的转矩大小以转速平方的比例增加或减小,这样的负载称为平方降转矩负载,其特性如图 2.22(b) 所示。

在这种方式下,因为负载所消耗的能量正比于转速的三次方,所以通过变频器控制流体机械的转速,与以往那种单纯依靠风门挡板或截流阀来调节流量的定速风机或定速泵相比,可以大大节省浪费在挡板、管壁上的能源,从而起到节能的显著作用。

## 3. 恒功率负载

机床的主轴驱动、造纸机或塑料片材的中心卷取部分、卷扬机等输出功率为恒值,与转速无关,这样的负载特性称为恒功率负载,其特性如图 2.22(c) 所示。

例如,卷纸机要求以一定的速度和相同的张力卷取纸张。在卷取初期,转矩可以较小,但随着纸卷直径的逐渐变大,纸卷的转速也随之变低,而转矩必须相应增大。

# 2.3 技能训练一:变频器 A700 I/O 端子的熟悉

## 2.3.1 A700 变频器输入和输出端子的熟悉

### 1. 接线原理

三菱 A700 变频器的多功能输入端子可以选择漏型逻辑和源型逻辑两种方式,在项目 2 中我们采用了默认方式下的漏型逻辑,即信号端子接通时,电流从相应的输入端子流



出,此时 A700 变频器端子 SE 是集电极开路输出信号的公共端端子(如图 2.23 所示)。

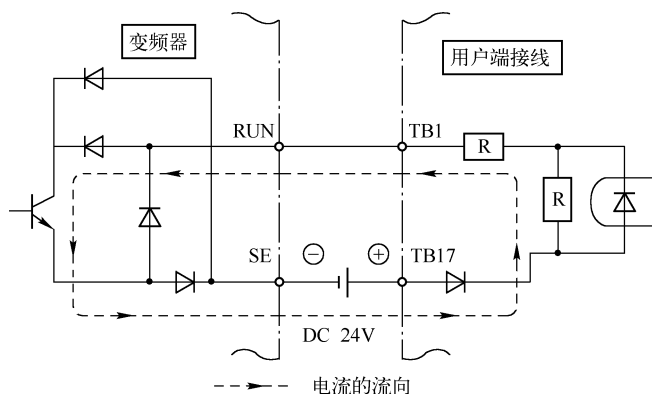
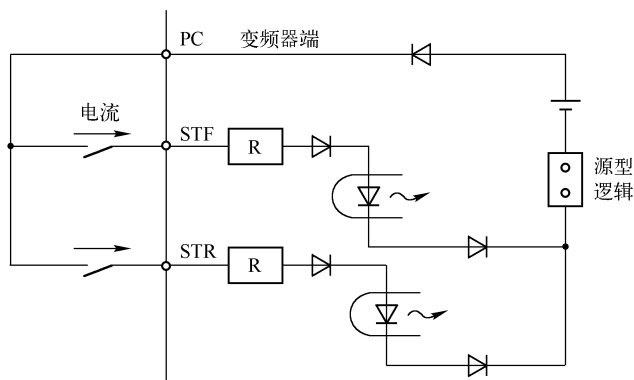
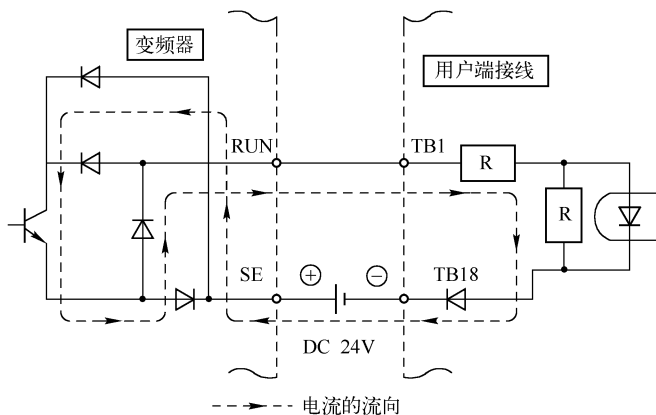


图 2.23 多功能输出接线(漏型逻辑)

而源型逻辑模式指信号输入端子中有电流流入时信号为 ON 的逻辑模式,端子 PC 是触点输入信号的公共端端子,端子 SE 是集电极开路输出信号的公共端端子,如图 2.24 所示。



(a) 输入端子接线



(b) 输出端子接线

图 2.24 源型逻辑下的多功能端子接线



## 2. 漏型与源型逻辑的设置

三菱 A700 变频器输入信号出厂设定为漏型逻辑(SINK),为了转换控制逻辑,需要转换控制电路端子台背面的跳线,而对于输出信号来说,不论插头位置如何,均可使用漏型逻辑及源型逻辑。

设置步骤如下。

(1) 如图 2.25 所示,松开控制回路端子板底部的两个安装螺钉,注意螺钉不能被卸下,用双手把端子板从控制回路端子背面拉下。

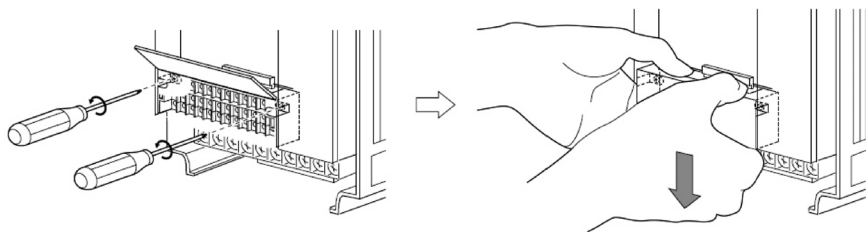


图 2.25 跳线设置步骤一

(2) 如图 2.26 所示,将控制回路端子排里面的漏型逻辑(SINK)跳线接口切换为源型逻辑(SOURCE)以切换到源型逻辑模式。

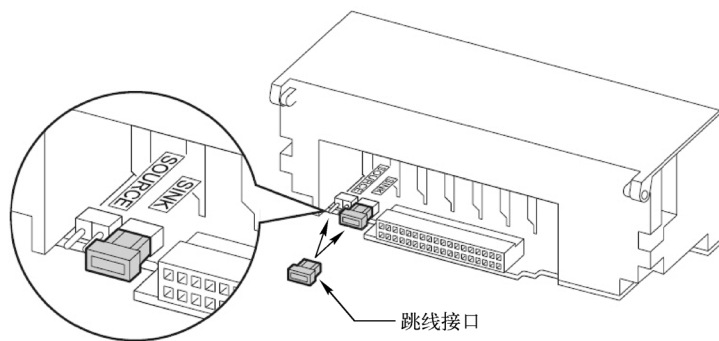


图 2.26 跳线设置步骤二

(3) 注意不要把控制电路上的跳线插针弄弯,将控制回路端子板重新安装上用螺钉把它固定好(如图 2.27 所示)。

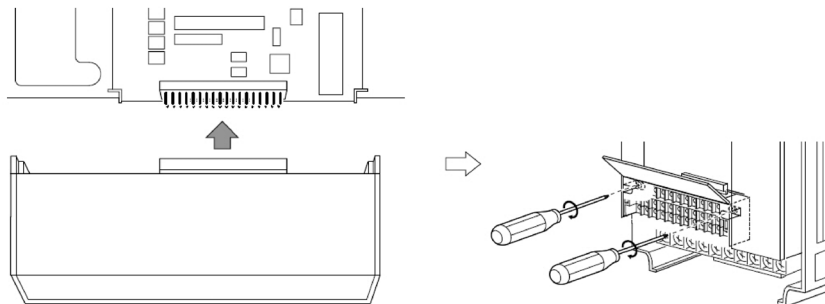


图 2.27 跳线设置步骤三



## 2.3.2 A700 变频器多段速接线与参数设置

通过开关发出 3 段速度的选择命令,启动与停止采用 PU 面板和端子命令两种方式进行。

(1) 先按图 2.28 所示进行接线。

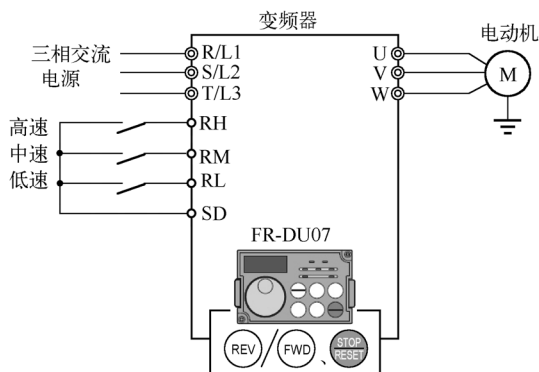


图 2.28 多段速选择一

(2) 以低速开关为例进行面板启停,如图 2.29 所示。

操作	显示
步骤 1. 供给电源时的画面监视器显示。	
步骤 2. 将 Pr. 79 变更为 “4”。	
步骤 3. 按下按键  (或 ) FWD (或 REV) 闪烁。 在没有频率指令的情况下闪烁。	
步骤 4. 将低速信号 (RL) 置为 ON。 输出频率随 Pr. 7 加速时间上升慢慢变为 “10.00” (10Hz)。	
步骤 5. 将低速信号 (RL) 置为 OFF。 输出频率随 Pr. 8 减速时间下降慢慢变为 “0.00” (0Hz)。	
步骤 6. 启动开关  置为 OFF。 FWD (或 REV) 灯灭。	

图 2.29 面板启停一



(3) 再按图 2.30 所示进行接线。

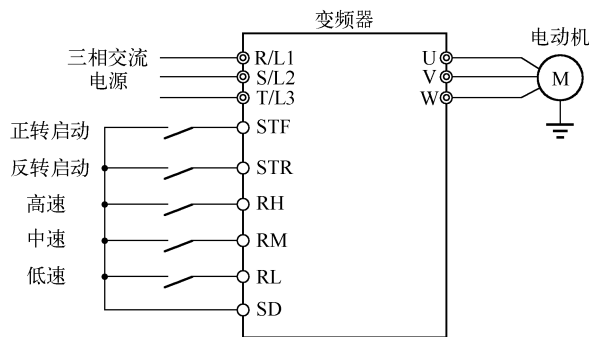


图 2.30 多段速选择二



(4) 以低速开关为例进行面板启停,如图 2.31 所示。

操作

显示

步骤 1. 电源ON→运行确认。  
在初始值中电源ON时为外部运行模式[EXT]。  
请确认运行指令是否为[EXT]。不显示的情况下请用  $\text{PU/EXT}$  键来设定 [EXT] 外部运行模式。  
经过上述步骤后还是不能切换运行模式时请在 Pr. 79 的设定中改为外部运行模式。

ON



步骤 2. 将 Pr. 4 变更为 “4000” (40Hz)。

步骤 3. 将高速开关 (RH) 置为ON。

步骤 4. 将启动开关 (STF或STR) 置为ON。  
这时候显示 “4000” (40Hz)。  
●RM置为ON时显示 30Hz,  
RL置为ON时显示 10Hz。

步骤 5. 停止。  
将启动开关 (STF或STR) 置为OFF。  
根据 Pr. 8 减速时间 电动机停止。



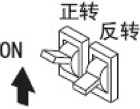
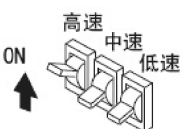


图 2.31 面板启停二

(5) 熟悉参数设置,以完成 7 段速设置。  
根据表 2.3 所示进行 7 段速设置。





表 2.3 7 段速设置

段 速	RH(ON/OFF)	RM(ON/OFF)	RL(ON/OFF)	参 数 号
1 速	ON	OFF	OFF	Pr. 4
2 速	OFF	ON	OFF	Pr. 5
3 速	OFF	OFF	ON	Pr. 6
4 速	OFF	ON	ON	Pr. 24
5 速	ON	OFF	ON	Pr. 25
6 速	ON	ON	OFF	Pr. 26
7 速	ON	ON	ON	Pr. 27

根据表 2.3 所示可以画出 7 段速所对应的时间/频率曲线(见图 2.32)。

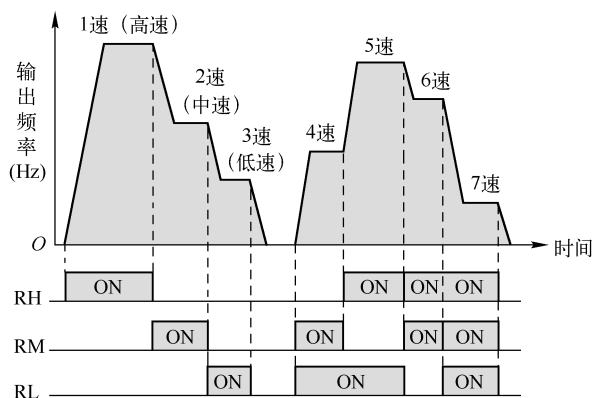


图 2.32 7 段速所对应的时间/频率曲线

### 2.3.3 A700 模拟量通道的确定

三菱 A700 变频器的模拟量通道的切换和选择遵照表 2.4 所示进行。A700 共有 3 路模拟量通道,即端子 2、4 和 1,其中 2 和 4 的输入可以选择电压和电流信号中的任意一种;而端子 1 只能输入电压信号,但允许输入正负电压。

#### 1. 模拟输入电压运行

A700 变频器端子 2 和 4 可以接收两种型号的电压信号,即 0~5V 或 0~10V,因而变频器的电源输出端子也提供了两种类型的规格,如表 2.5 所示。



表 2.4 三菱 A700 变频器的模拟量通道的切换和选择

Pr. 73 设定值	端子 2 输入	端子 1 输入	端子 4 输入	补偿输入端子和 补偿方法	极 性 可 逆
0	0 ~ 10V	0 ~ ± 10V	AU 信号 OFF 时	端子 1 叠加补偿	否  (显示无法 接收负极性的 频率指令信号 的状态)
1 (初始值)	0 ~ 5V	0 ~ ± 10V			
2	0 ~ 10V	0 ~ ± 5V			
3	0 ~ 5V	0 ~ ± 5V			
4	0 ~ 10V	0 ~ ± 10V			
5	0 ~ 5V	0 ~ ± 5V			
6	4 ~ 20mA	0 ~ ± 10V			
7	4 ~ 20mA	0 ~ ± 5V			
10	0 ~ 10V	0 ~ ± 10V			
11	0 ~ 5V	0 ~ ± 10V			
12	0 ~ 10V	0 ~ ± 5V			
13	0 ~ 5V	0 ~ ± 5V			
14	0 ~ 10V	0 ~ ± 10V			
15	0 ~ 5V	0 ~ ± 5V			
16	4 ~ 20mA	0 ~ ± 10V			
17	4 ~ 20mA	0 ~ ± 5V			
端子 2 输入	端子 1 输入	端子 4 输入		补偿输入端子和 补偿方法	极 性 可 逆
0	×	0 ~ ± 10V	AU 信号 ON 时根据 Pr. 267 设定值 0: 4 ~ 20mA(初始值) 1: 0 ~ 5V 2: 0 ~ 10V	端子 1 叠加补偿	否  (显示无法 接收负极性的 频率指令信号 的状态)
1 (初始值)		0 ~ ± 10V			
2		0 ~ ± 5V			
3		0 ~ ± 5V			
4	×	端子 2 比例补偿			
5				0 ~ 5V	
6	×	端子 1 叠加补偿			
7				0 ~ ± 5V	
10	×				
11					
12					
13					
14	0 ~ 10V	端子 2 比例补偿			
15				0 ~ 5V	
16	×	端子 1 叠加补偿			
17				0 ~ ± 5V	



表 2.5 变频器输出电源规格

端 子	变频器内置 电源电压	频率设定分辨率	Pr. 73 (端子 2 输入电压)
10	DC 5V	0.024Hz/50Hz	输入 DC 0 ~ 5V
10E	DC 10V	0.012Hz/50Hz	输入 DC 0 ~ 10V

根据参数设置要求,当输入信号为 DC 0 ~ 5V 时,Pr. 73 参数需要设置“0、2、4、10、12、14”;Pr. 267 参数需要设置“1”。如图 2.33 所示为模拟输入电压运行接线示意。

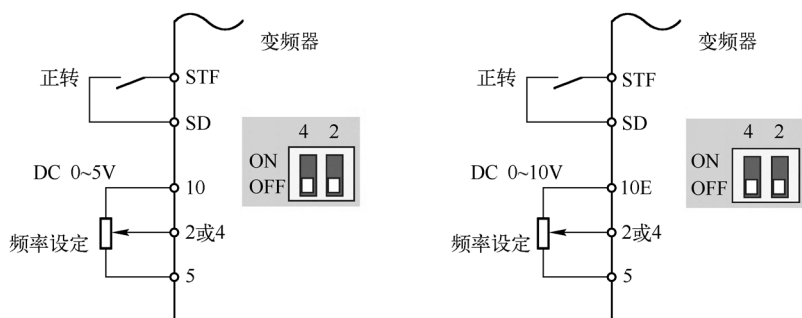


图 2.33 模拟输入电压运行接线示意

## 2. 模拟输入电流运行

A700 变频器端子 2 和 4 可以接收电流信号,此时需要同时将跳线设置为电流输入,以满足温度、流量、压力、液位等传感器信号。对于参数设置,端子 2 对应的参数 Pr. 73 设置为“6、7、16、17”,端子 4 对应的参数 Pr. 267 设置为“0”。当然,当选用端子 4 电流信号时,还需要将 AU 信号置位(如图 2.34 所示)。

## 3. 模拟输入电压进行极性可逆运行

A700 变频器端子 1 可以接收正负电压信号,如图 2.35 所示,其对应的参数值 Pr. 73 设定为“10 ~ 17”。

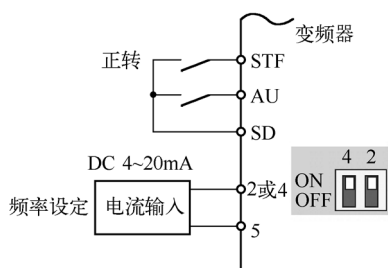


图 2.34 模拟输入电流运行

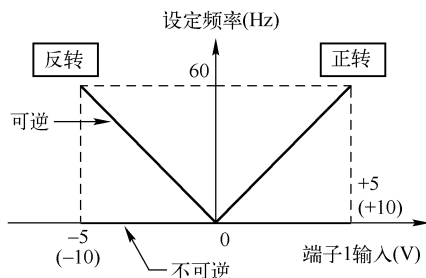


图 2.35 极性可逆运行



#### 4. 叠加补偿

A700 变频器具有叠加补偿功能,方便在速度同步控制中启动有很好的同步功能,此时需要将 Pr. 73 设置功能为“0~3、6、7、10~13、16、17”。

对端子 2 的叠加补偿量百分比能够通过 Pr. 242 进行调整,对端子 4 的补偿量能够通过 Pr. 243 进行调整,调整公式如下。

$$\text{使用端子 2 的模拟指令值} = \text{端子 2 输入} + \text{端子 1 输入} \times \frac{\text{Pr. 242}}{100(\%)}$$

$$\text{使用端子 4 的模拟指令值} = \text{端子 4 输入} + \text{端子 1 输入} \times \frac{\text{Pr. 243}}{100(\%)}$$

频率叠加功能的具体应用如图 2.36 所示。

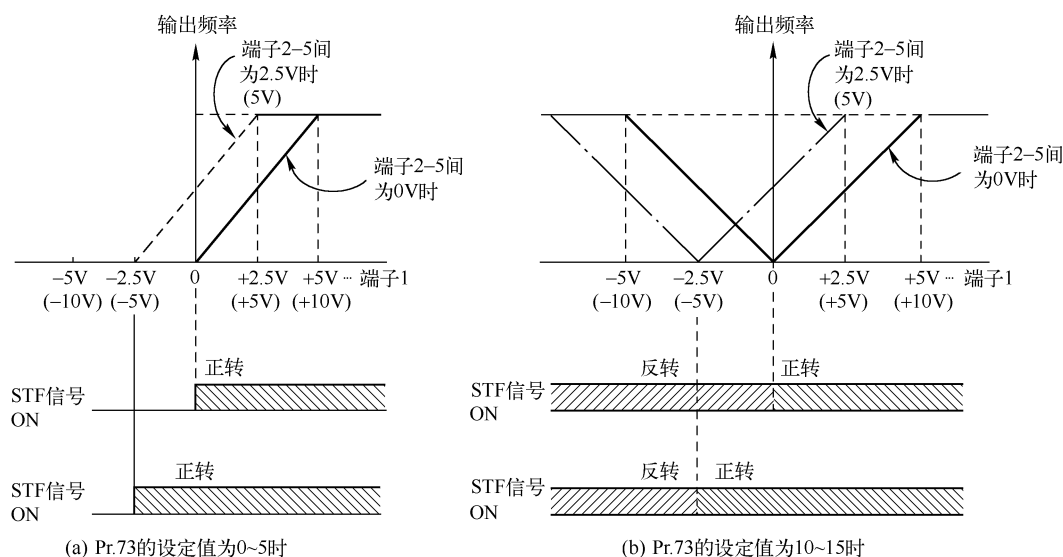


图 2.36 频率叠加功能的具体应用

#### 5. 比例补偿功能

在选择比例补偿时,端子 1 或 4 为主速度给定,端子 2 为比例补偿信号,这一点需要特别引起注意。在端子 1 或 4 主速度给定为 0 时,通过端子 2 的补偿也为 0。比例补偿范围在参数 Pr. 252(比例补偿偏置)和 Pr. 253(比例补偿增益)中设定。

其中设定频率的计算公式如下。

$$\text{设定频率(Hz)} = \text{主速度设定频率(Hz)} \times \frac{\text{补偿量}(\%) }{100(\%)}$$

以端子 1 为主速度给定,端子 2 为频率比例补偿功能的具体应用如图 2.37 所示。

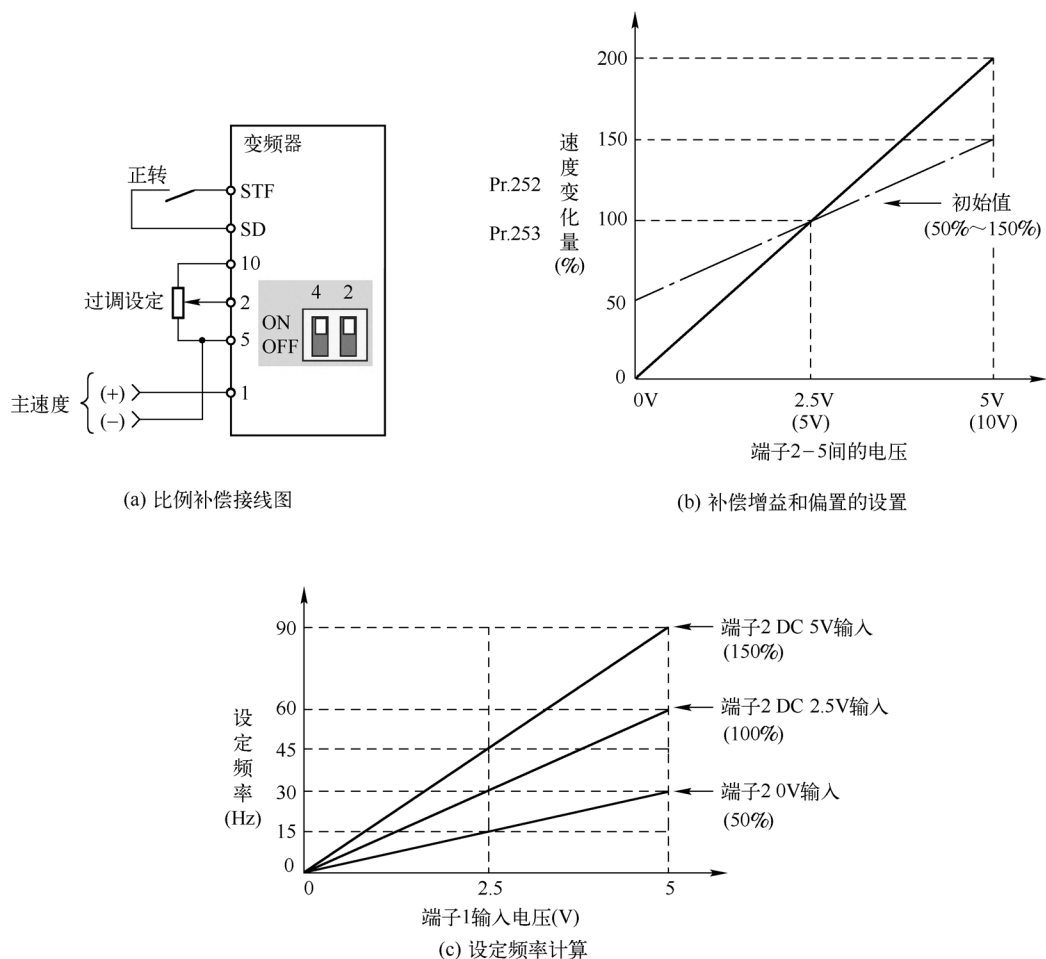


图 2.37 频率比例补偿功能的具体应用

## 2.4 技能训练二：针对特殊负载的变频器参数设置与接线

### 2.4.1 A700 手动转矩提升操作

通过对变频器 A700 的手动转矩提升参数进行设置,即对低频区的电压进行补偿,可以改善电动机在低速范围内的电动机转矩降低现象。三菱变频器提供了 3 个参数,并通过端子的切换,可以实施 3 种类型的转矩提升。参数设置如表 2.6 所示。

手动转矩提升设定步骤如下。

(1) 确认 Pr. 19 的基准频率电压值(如表 2.7 所示)。



表 2.6 变频器 A700 的手动转矩提升参数

参数号	名 称	初 始 值		设 定 范 围	内 容
0	转矩提升	0.4kW,0.75kW	6%	0% ~ 30%	0Hz 时的输出电压按百分值(%)设定
		1.5 ~ 3.7kW	4%		
		5.5kW,7.5kW	3%		
		11 ~ 55kW	2%		
		75kW 以上	1%		
46	第 2 转矩提升	9 999		0% ~ 30%	RT 信号为 ON 时设定转矩提升值
				9 999	无第 2 转矩提升
112	第 3 转矩提升	9 999		0% ~ 30%	X9 信号为 ON 时设定转矩提升值
				9 999	无第 3 转矩提升

表 2.7 基准频率电压值

参 数 号	名 称	初 始 值	设 定 范 围	内 容
19	基准频率电压	9 999	0 ~ 1 000V	设定基准电压
			8 888	电源电压的 95%
			9 999	与电源电压相同

- (2) 用百分数在 Pr. 0 中设定 0Hz 时的输出电压。
- (3) 逐步进行参数的调整,调整幅度为 0.5% 左右,并随时确认电动机的状态。设定值过大会导致电动机过热,最大应控制在 10% 以内。
- (4) 当变频器与电动机的距离较长时或在低速区的电动机转矩不足等情况下,使用时应将设定值设定得大一些,但设定过大会使变频器过电流跳闸。
- (5) 进行第 2、3 转矩提升时,一定注意端子分配的参数设置,以免影响其他功能的正常使用。

2.4.2 A700 加减速的功能选择

变频器的加减速设置对于电动机的稳定运行具有非常重要的作用,尤其对于特定负载,如搅拌机、输送带和电梯等。A700 变频器对于某些负载,还可以不设定加减速时间或 V/f 曲线,也可按照设定好的各项合适参数值来运行变频器。表 2.8 所示是与加减速有关的参数集合。

表 2.8 与加减速有关的参数集合

参数编号	名 称	初 始 值	设 定 范 围		内 容
61	基准电流	9 999	55kW 以下	0 ~ 500A	设定最短(最佳)加减速时的基准电流
			75kW 以上	0 ~ 3 600A	
			9 999		变频器定格电流值基准



续表

参数编号	名 称	初 始 值	设 定 范 围	内 容
62	加速时基准值	9 999	0% ~ 220%	设定最短(最佳)加速时的限制值(最佳值)
			9 999	最短加减速:限制值为 150% 最佳加减速:最佳值为 100%
63	减速时基准值	9 999	0% ~ 220%	设定最短(最佳)减速时的限制值(最佳值)
			9 999	最短加减速:限制值为 150% 最佳加减速:最佳值为 100%
292	自动加减速	0	0	正常模式
			1	最短加减速(无制动)
			11	最短加减速(有制动)
			3	最佳加减速
			5,6	升降机模式 1,2
			7,8	制动序列模式 1,2
293	加速减速时间计算 个别选择	0	0	最短(最佳)加减速模式的加速、减速 均进行计算
			1	仅计算最短(最佳)加减速模式的加速
			2	仅计算最短(最佳)加减速模式的减速

### 2.4.3 A700 对电动机的热保护功能设置

#### 1. 热保护值参数 Pr. 9

设定好电子热保护值,可以对电动机进行过热保护,同时能够在变频器低速运行时,保护电动机因冷却风扇速度降低而引起的电动机自冷却能力降低的问题。表 2.9 所示为 Pr. 9 的具体设定参数值。

表 2.9 Pr. 9 的具体设定参数值

参数号	名 称	初 始 值	设 定 范 围		内 容
9	电子过电流	变频器额定 输出电流	55kW 以下	0 ~ 500A	设定电动机额定电流
			75kW 以上	0 ~ 3 600A	

#### 2. 外部热继电器动作信号输入

为了对电动机进行热保护,通常会使用外部热继电器,但是如果仅仅使用它,即使电动机真的保护后,也只是切断了变频器的输出主回路,并没有使变频器停止运行。因此



A700 变频器特别设置了外部热继电器输入保护功能,即对多功能输入端子 Pr. 178 ~ Pr. 189 设置为“7: 外部热继电器输入”,即可按照图 2.36 所示连接方式来实现动作保护。图 2.38 中所示的 OH 端子就是外部热继电器输入功能。

外部热继电器动作时,变频器输出关闭,并输出异常信号“E. OHT”。

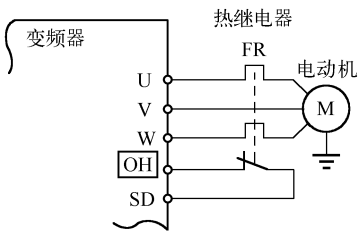


图 2.38 热继电器信号输入

3. 热敏电阻 PTC 输入

PTC 热敏电阻的最大特点是体积小(典型尺寸:1.9mm×0.6mm),响应快,具有4层保护,并且有3个头串联(最多可有9个头串联),因此可埋藏在电动机的三相线圈中,可对不同温度进行保护,也可对电动机的轴承、润滑剂等关键部位进行保护(如表 2.10 所示)。

表 2.10 电动机嵌入式 PTC 电阻值变化

电动机温度	PTC 热敏电阻值
正常	0 ~ 500Ω
边界	500Ω ~ 4kΩ
过热	4kΩ 以上

A700 变频器具有 PTC 输入功能,其接线如图 2.39 所示,并设置参数 Pr. 184 = 63。

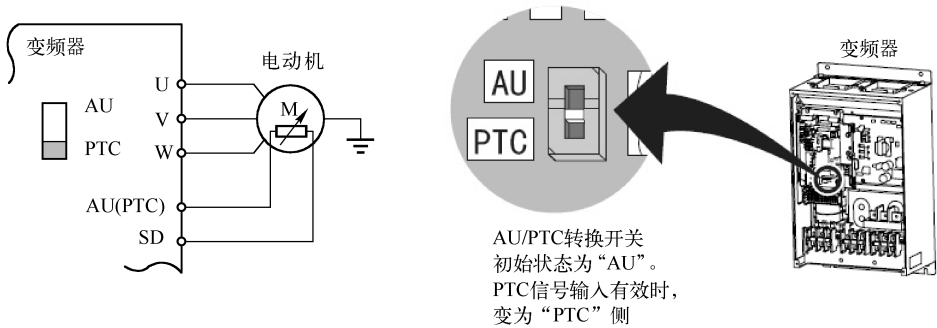


图 2.39 热敏电阻 PTC 输入连接图

4. 电子过电流报警输出和预报警信号

变频器 A700 具有多功能输出端子如 RUN、SU、IPF、FU、ABC1 和 ABC2 共 6 个,它们可以被设定不同的输出信号。如果要特别保护电动机,可以输出电子过电流报警信号和故障信号,即 THP、E. THM 或 E. THT。图 2.40 所示为信号输出示意。

电子过电流与报警时,应该设定多功能端子为“8,108: 电子过电流保护预报警”,其中“8”为正逻辑,“108”为负逻辑。预报警时,变频器输出不关闭。



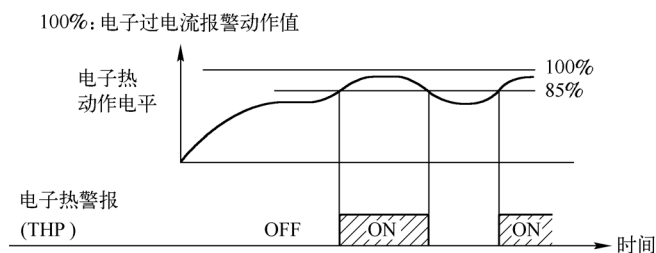


图 2.40 电子过电流报警输出

## 2.4.4 电动机的节能运行

变频器对于风机和水泵进行控制时,经常希望工作在节能状态,因此 A700 专门设置了一个节能参数用于切换“通用模式”与“节能模式”(如表 2.11 所示)。

表 2.11 节能模式

参数号	名 称	初 始 值	设 定 范 围	内 容
60	节能控制选择	0	0	通常运行模式
			4	节能运行模式

在节能模式下,为使恒速运行中的变频器输出功率降至最小,变频器会自动控制输出电压。

应该指出的是:

- (1) 在施加较大负荷转矩(比如挤出机)的情况下,或是用于频繁加减速的机械设备(比如龙门刨床)中,节省能源的效果可能不会太好。
- (2) 节能模式仅在  $V/f$  控制时才有效,其他模式无效。
- (3) 在节能模式设置时,减速时间会比设定值长,如负载为恒转矩特性时容易产生过电压故障,需要将减速时间设定得稍长一些。

## 2.4.5 A700 变频器多功能输出端子操作

对于变频器运行的各种状态,都可以通过多功能端子进行输出,包括继电器触点或集电极开路输出两种,电平则分为正逻辑和负逻辑。

这里简单介绍其中两种最常用功能。

### 1. 变频器运行准备信号和运行信号

以最常用的  $V/f$  控制为例,RY 和 RY2 表示变频器运行准备信号,RUN、RUN2 和 RUN3 表示运行信号。表 2.12 所示为变频器状态与输出信号的逻辑关系。



表 2.12 变频器状态与输出信号的逻辑关系

变频器 状态  输出 信号	启动信号 OFF (停止中)	启动信号 ON (停止中)	启动信号 ON (运行中)	直流制动 运作中	发生警报或者 MRS 信号 ON(切断输出)		瞬间停止重启		
							自由运转过程中		重启过 程中
					启动信号 ON	启动信号 OFF	启动信号 ON	启动信号 OFF	
RY	ON	ON	ON	ON	OFF		ON * 1		ON
RY2	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF		OFF		OFF
RUN	OFF	OFF	ON	OFF	OFF		OFF		ON
RUN2	OFF	OFF	ON	OFF	OFF		OFF		ON
RUN3	OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON

图 2.41 所示确切地描述了这几种信号之间的电平逻辑。

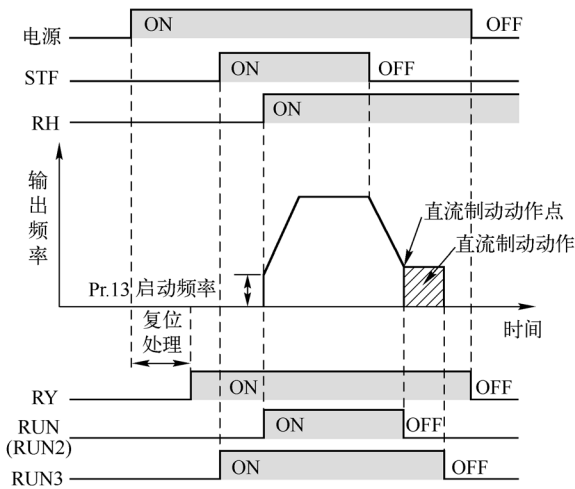


图 2.41 电平逻辑

2. 异常信号输出

变频器在报警停止后输出 ALM、ALM2 信号,其中 ALM2 信号在发生报警后的复位期间也保持 ON 状态(如图 2.42 所示)。

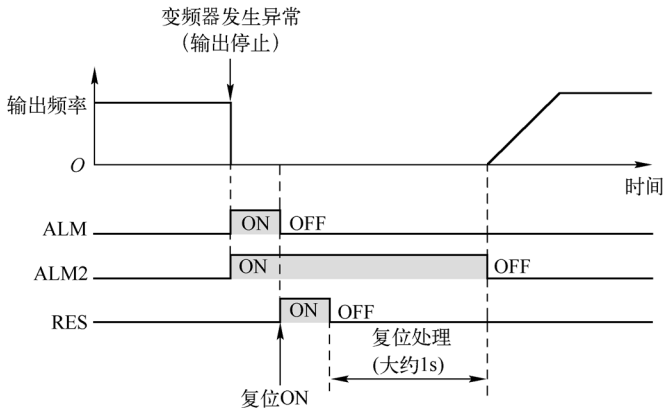


图 2.42 异常信号输出



## 2.4.6 A700 变频器模拟量输出端子操作

A700 具有两个模拟量输出端子 CA 和 AM,分别输出电流信号和电压信号。

### 1. 输出模拟量的种类

CA 和 AM 端子可以输出频率、电流、电压、功率、转矩、PID 目标值等,表 2.13 所示为除了“21:基准电压输出”之外的所有模拟量信号。

表 2.13 模拟量设定功能

监视器的种类	单 位	Pr. 54 (CA) Pr. 158 (AM) 设定值	端子 CA,AM 满刻度值	内 容
输出频率	0.01Hz	1	Pr. 55	显示变频器输出频率
输出电流	0.01A/0.1A	2	Pr. 56	显示变频器输出电流有效值
输出电压	0.1V	3	800V	显示变频器输出电压
频率设定值	0.01Hz	5	Pr. 55	显示设定的频率
运行速度	1r/min	6	将 Pr. 55 转换为 Pr. 37 的值之后的值	显示电动机转速
电动机转矩	0.1%	7	Pr. 866	以电动机额定转矩为 100%,按百分比显示电动机转矩 (V/f 控制时为 0% 显示)
直流侧电压	0.1V	8	800V	显示直流母线电压值
再生制动使用率	0.1%	9	Pr. 70	在 Pr. 30, Pr. 70 中设定制动使用率
电子过电流负载率	0.1%	10	100%	过电流动作水平作为 100% 显示电动机过电流的累计值
输出电流峰值	0.01A/0.1A	11	Pr. 56	保持显示输出电流监视器的峰值 (每次启动时清除)
直流侧电压峰值	0.1V	12	800V	保持显示直流母线电压值的峰值 (每次启动时清除)
输入功率	0.01kW/0.1kW	13	变频器的额定电力×2	显示变频器输入端的功率
输出功率	0.01kW/0.1kW	14	变频器的额定电力×2	显示变频器输出端的功率
负载表	0.1%	17	100%	Pr. 56 设定值 100% 以百分值 (%) 显示转矩电流



续表

监视器的种类	单 位	Pr. 54 (CA) Pr. 158 (AM) 设定值	端子 CA,AM 满刻度值	内 容
电动机励磁电流	0.01 A/0.1 A	18	Pr. 56	显示电动机的励磁电流值
电动机负载率	0.1 %	24	200 %	变频器额定电流值作为 100 % 以百分值 (%) 显示输出电流值 监视器值 = 输出电流监视器值 / 变频器额定电流 × 100 [ % ]
转矩指令	0.1 %	32	Pr. 866	显示矢量控制结果的转矩指令值
转矩电流指令	0.1 %	33	Pr. 866	显示转矩分电流的指令值
电动机输出	0.1 kW	34	电动机额定容量	在电动机转速乘上当时的输出转矩后,显示电动机轴端的机械输出
省电效果	根据参数变化	50	变频器容量	显示节能效果
PID 目标值	0.1 %	52	100 %	显示 PID 控制时的目标值、测量值、偏差
PID 测量值	0.1 %	53	100 %	

2. CA 端子校正

图 2.43 所示为 CA 端子的输出连接及校正。在校正参数 C8 中进行模拟量电流输出为零时的设定,而在 C10 中进行模拟量电流输出最大时的设定。校正参数 C9 和 C11 对模拟量输出电流进行最小值和最大值设定。

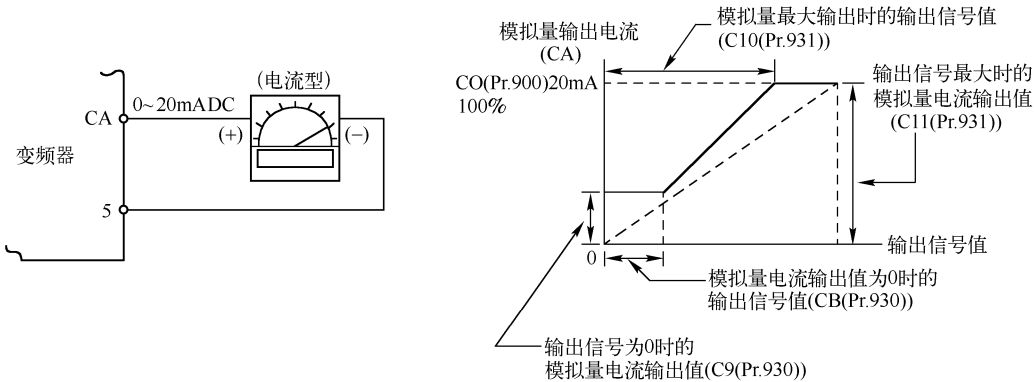


图 2.43 CA 端子输出连接及校正

对校正参数 C0 进行参数修改,如图 2.44 所示。

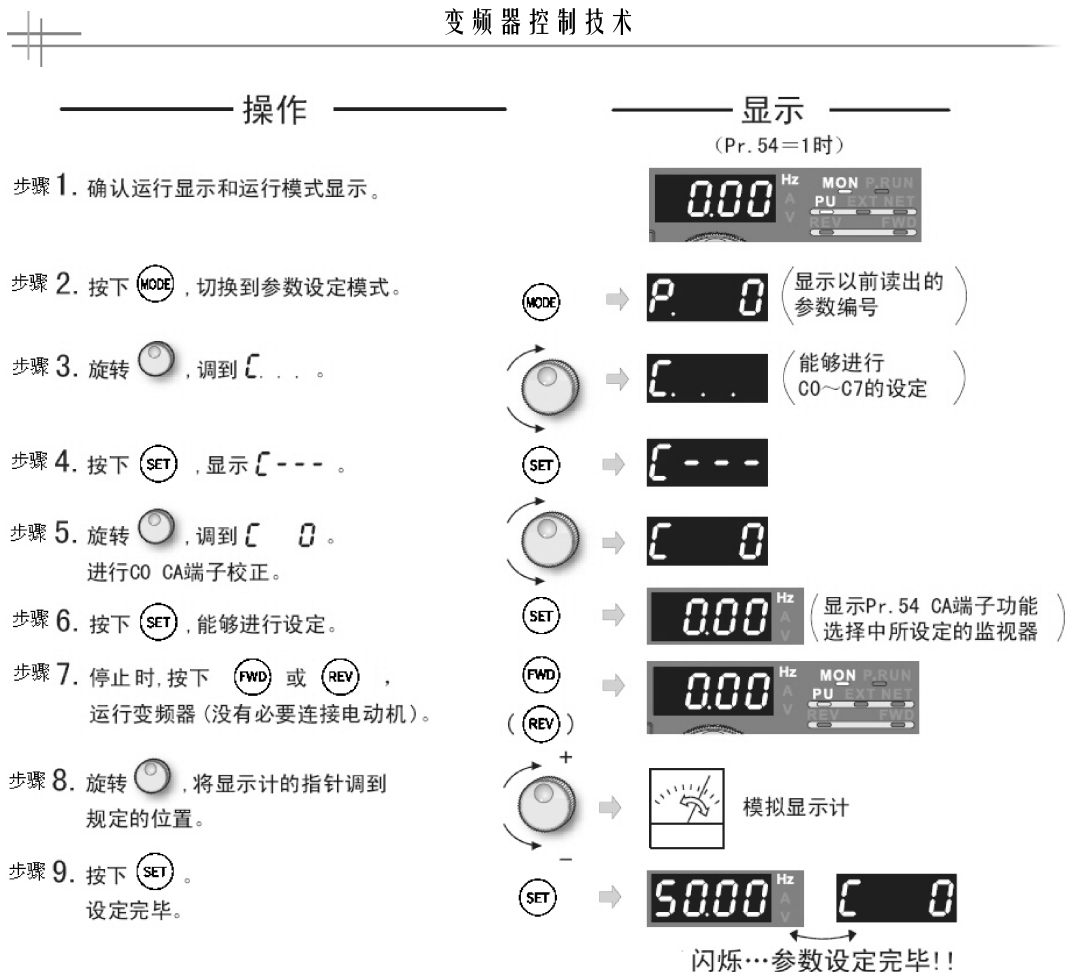


图 2.44 对 C0 进行参数修改

对 CA 端子进行校正如下。

① 将 DC 0 ~ 20mA 显示仪表 (直流电流表) 连接到变频器的端子 CA - 5 间 (请注意极性, 端子 CA 为正极)。

② 将校正参数 C8 (Pr. 930) ~ C11 (Pr. 931) 设定为初始值 (显示仪表的指针不能归零时, 请通过 C8 (Pr. 930), C9 (Pr. 930) 加以校正)。

③ 参照输出信号一览表对 Pr. 54 进行设定。

当输出信号选择了运行频率或变频器输出电流等时, 通过 Pr. 55 或 Pr. 56 预先设定输出信号为 20mA 的运行频率或电流值。

④ 变频器运行 (PU、外部运行均可)。

⑤ 通过校正参数 C0 (Pr. 900) 进行设定, 使得显示仪表的指针指在满刻度位置。

### 3. AM 端子校正

图 2.45 所示为 AM 端子连接图。AM 端子最大输出为 DC 10V, 参数 C1 设定的是对输出电压的增益值。

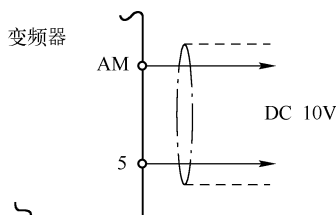


图 2.45 AM 端子连接图

对 AM 端子进行校正如下。

① 将 DC 0 ~ 10V 显示仪表(频率表)连接到变频器的端子 AM - 5 间(请注意极性,端子 AM 为正极)。

② 请参见监视器内容一览表设定 Pr. 158。

当监视器选择了运行频率或变频器输出电流等时,请通过 Pr. 55 或 Pr. 56 预先设定输出信号为 10V 的运行频率或电流值。

③ 对于输出电流等在运行过程中无法输出 100% 的值的输出项目等,可将 Pr. 158 设定为“21”(标准电压输出)并实施下一步操作,操作完成后将 Pr. 158 设定为“2”(输出电流时)。

## 2.5 项目设计方案

### 2.5.1 化工厂泵与搅拌机变频控制系统的硬件设计

图 2.46 所示为化工厂泵与搅拌机变频控制系统的硬件设计,其内容包括:

(1) VF1、VF2 和 VF3 分别控制电动机 M1、M2 和 M3,并在电动机端安装热继电器,其选型跟普通继电器没有区别,并将电流整定为 1.1 倍的额定电流。

(2) 对于 VF1 来说,其频率设定通过电位器 Rp1 或多段速,同时通过输出 AM 信号,即变频器运行速度信号给 VF2 和 VF3, VF2 和 VF3 在自动情况下,即 AU 信号接通时进行同步跟随。

(3) 对于 VF2 和 VF3 来说,通过选择 AU 信号,可以工作在自动和手动两种情况,手动情况下,采用电位器输入信号,即 Rp2 控制 VF2, Rp3 控制 VF3。

(4) VF1 故障后,其 A1、C1 端子动作,KA4 动作,随即停止 VF2 和 VF3,且只有在 VF1 动作复位的情况下才能再次启动。

为了确保多段速合理的应用,本项目中选择了多位转换开关 H5881/3,其外观与功能如图 2.47 所示。该选择开关提供了 6 个选择位,而本项目只需要用到其中的 2 位和 0 位,其余几位以方便扩充用(注意练习与思考)。

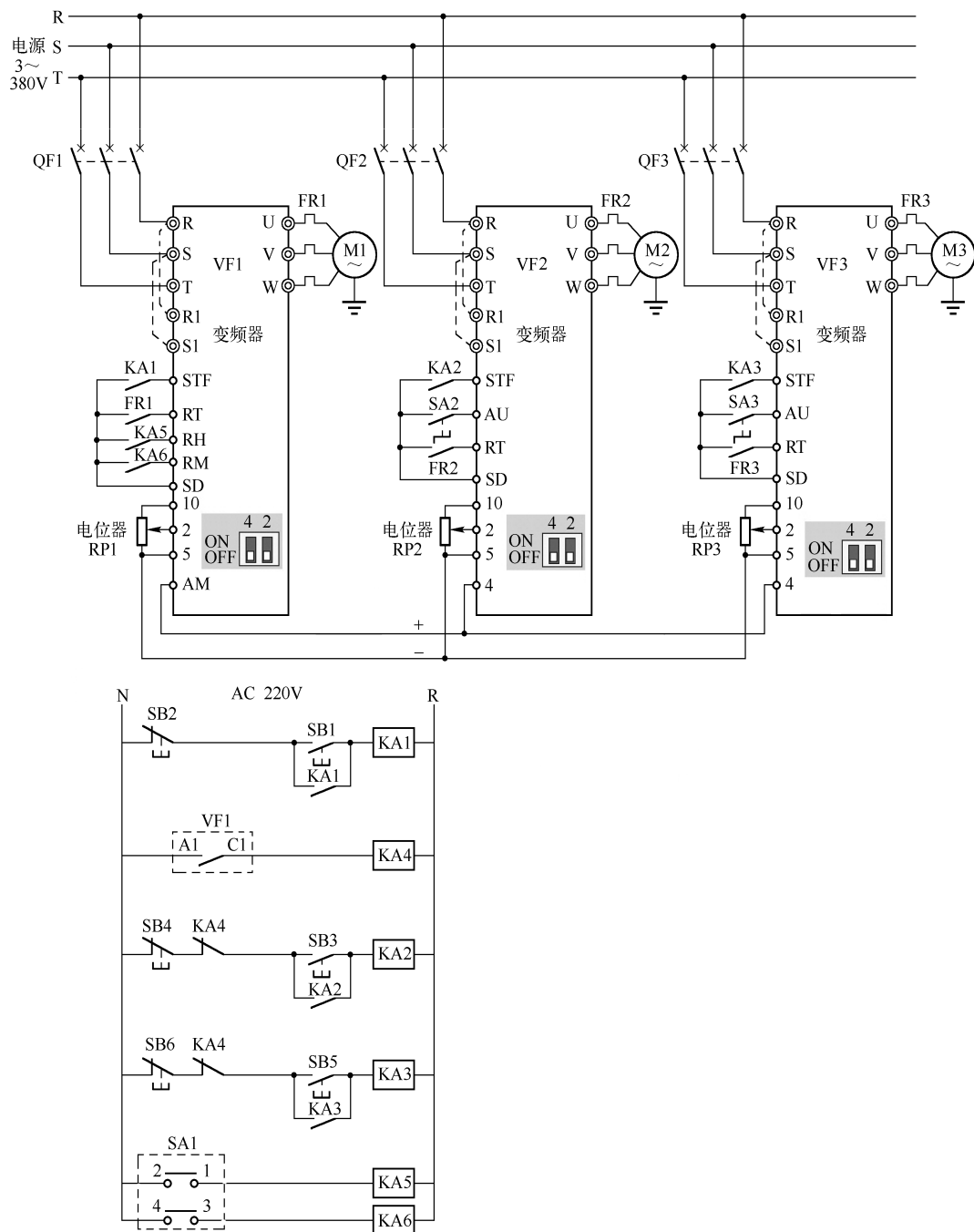


图 2.46 总体设计思路

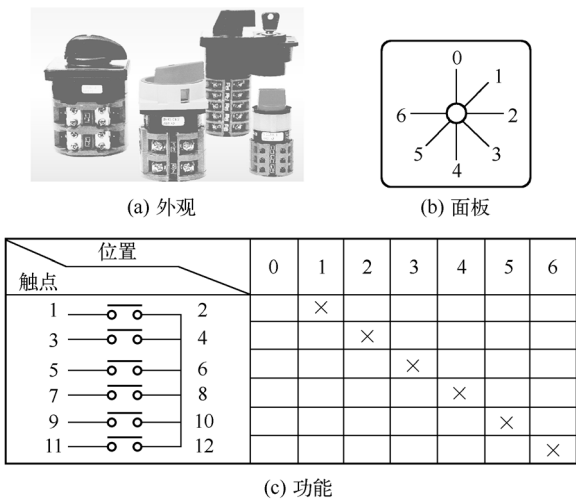


图 2.47 多位转换开关

### 2.5.2 化学品电动机的变频器参数设置与调试

#### 1. VF1 搅拌机变频器设置(如表 2.14 所示)

表 2.14 VF1 参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 0	手动转矩提升	6%
Pr. 4	多段速设定(RH)	50.0Hz
Pr. 5	多段速设定(RM)	25.0Hz
Pr. 73	模拟量的选择	1(端子2输入0~5V)
Pr. 79	运行模式选择	2(外部模式固定)
Pr. 158	AM 端子功能选择	1(输出频率)
Pr. 178	STF 功能选择	60(正转命令)
Pr. 183	RT 功能选择	7(外部热继电器输入)
Pr. 195	ABC1 功能选择	97(故障输出)

#### 2. VF2 螺旋推进器变频器设置(如表 2.15 所示)

表 2.15 VF2 参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 0	手动转矩提升	4%
Pr. 73	模拟量的选择	1(端子2输入0~5V)
Pr. 79	运行模式选择	2(外部模式固定)
Pr. 178	STF 功能选择	60(正转命令)
Pr. 183	RT 功能选择	7(外部热继电器输入)
Pr. 184	AU 功能选择	4(端子4输入选择)
Pr. 267	端子4输入选择	2(端子2输入0~10V)





## 3. VF3 清水泵变频器设置(如表 2. 16 所示)

表 2. 16 VF3 参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 73	模拟量的选择	1(端子 2 输入 0~5V)
Pr. 79	运行模式选择	2(外部模式固定)
Pr. 158	AM 端子功能选择	1(输出频率)
Pr. 178	STF 功能选择	60(正转命令)
Pr. 183	RT 功能选择	7(外部热继电器输入)
Pr. 184	AU 功能选择	4(端子 4 输入选择)
Pr. 195	ABCI 功能选择	97(故障输出)
Pr. 267	端子 4 输入选择	2(端子 2 输入 0~10V)

## 2.6 技术答疑

【问题 1】对于变频器 VF1 来说,如果继电器输出 ABC1 和 ABC2 已经用于其他功能(比如运行和准备信号输出),那么怎么使用集电极开路输出端子?

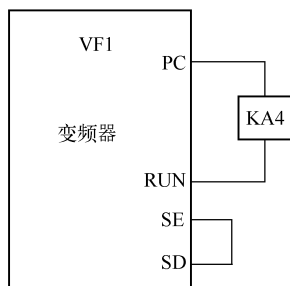


图 2. 48 集电极开路输出

由于 ABC1 和 ABC2 都是继电器触点信号,因此接线相对简单,但是集电极开路输出则必须按照图 2. 48 所示接线方法进行。

【问题 2】在化工厂大量应用变频器后,出现了电动机轴承变坏的现象,这是为什么?

当电动机由变频器供电时,高次谐波分量使电压波形的畸变率和电源的零序分量变大(电网供电时,正弦畸变率不超过 5%,电压的零序分量不超过正弦分量的 1%),致使定子绕组中性点发生位移,因此轴电压较大。在磁通恒定的情况下,电动机的轴电压与转速、频率和功率成正比。

通常,转抽与轴承之间有润滑油的油膜存在,当轴电压较低时,尚不会形成轴电流,但轴电压增大到一定值时,轴电压将击穿油膜而形成放电,构成轴电流回路,最终使转轴和轴承烧毛或局部烧熔,伴随的是电动机噪声的加剧。

由于电动机所允许的轴电压大小与轴承的状态、油膜的厚度等因素有关,很难定量分析,通常以表 2. 17~表 2. 19 所示规定作为电动机轴电压和轴电流的参考。

表 2. 17 轴电压对滑动轴承的影响

轴电压有效值/V	对滑动轴承的影响
< 0.3	无害
0.5~1.0	存在有害轴电流的可能
> 1.8	在一周到一年左右时间内轴瓦会烧坏



表 2. 18 滑动轴承的轴电流限值

轴电流/A	对滑动轴承的影响
<10	无害
10 ~ 40	可耐一年左右的运转
>100	危险、数小时内轴瓦将会被烧坏

表 2. 19 滚动轴承的轴电流限值

轴电流/A	对滑动轴承的影响
<1	无害
1 ~ 1. 4	可耐数百小时运转
>2	危险、数小时内轴瓦将会被烧坏损坏

综上所述,化工厂交流异步电动机的轴电压和轴电流现象并不是什么新的问题。自从以绝缘栅双极晶体管(IGBT)为功率器件的脉宽调制(PWM)逆变器作为交流电动机的传动电源后,大中型电动机上的轴电流问题变得日趋严重,这也使得轴承出现问题 and 损坏的概率增加,损坏的速度加快。而且具有高载波频率(大于12kHz)的IGBT逆变器导致电动机轴承的损害比低载波频率的逆变器更快。此时产生轴电流的主要原因是PWM逆变器输出在电气上的瞬时不平衡。

为了防止轴电流事故的发生,对于变频器供电的中大型电动机,应在电动机的非负载侧轴承座和轴承架之间加垫绝缘板,以切断轴电流回路;或在轴端安装接地电刷,通过降低轴点位来达到减小轴电流的目的。

**【问题3】**变频器在调试过程中,经常会碰到一些简易故障或报警,该如何一一排除?

变频器的很多简易故障往往只需要根据变频器说明书的提示即可完成,包括电动机不转,电动机反转,转速与给定偏差太大,变频器加速/减速不平滑,电动机电流过高,转速不增加,转速不稳定等。表2. 20给出了不同故障点下的变频器及相关线路检查内容。

表 2. 20 变频器简易故障排除点及内容

简易故障点	变频器及相关线路检查内容
电动机不转	(1) 主电路检查:看输入(线)电压正常否(变频器的LED是否亮),电动机连接是否正确。 (2) 输入信号检查:看是否有运行输入信号至变频器,是否正向和反向信号输入同时进入变频器,指令频率信号输入是否进入了变频器。 (3) 参数设定检查:运行方式设定是否正确,指令频率是否设定正确。 (4) 负载检查:负载是否过载或电动机容量有限。 (5) 其他:报警或故障未处理
电动机反转	输出端子的U,V,W的相序是否正确,正转/反转指令信号是否正确
转速与给定偏差太大	频率给定信号正确与否; 下面的参数设定是否正确:低限频率、高限频率、模拟频率增益; 输入信号线是否受外部噪声的影响(使用屏蔽电缆)
变频器加速/减速不平滑	减速/加速时间是否设定太短; 负载是否过大; 是否转矩补偿值过高导致电流限制功能和停转防止功能不工作



续表

简易故障点	变频器及相关线路检查内容
电动机电流过高	负载是否过大,是否转矩补偿值过高
转速不增加	上限限制频率值正确与否; 负载是否过大; 是否转矩补偿值过高导致停转防止功能不工作
当变频器运行时转速不稳定	负载检查:负载是否不稳定; 输入信号检查:是否频率参数信号不稳定; 当变频器使用 $V/f$ 控制时是否配线过长?(大于 500m)

## 思考与练习

习题 2.1 在很多工厂进口设备中,电动机的额定工作电压和频率均不符合 380V/50Hz 的中国标准,你觉得国产变频器能用吗?假如能够使用应该注意哪些事项?

习题 2.2 图 2.49 所示为某变频器运行  $V/f$  曲线,请根据图中的数字标注进行参数设定(其中变频器型号分别为三菱 A700 和另外一种变频器,可以从网上下载说明书)。

习题 2.3 一台三菱 A700 变频器用于煤码头的皮带传输机(如图 2.50 所示),为了提高带载启动能力,该如何设置?

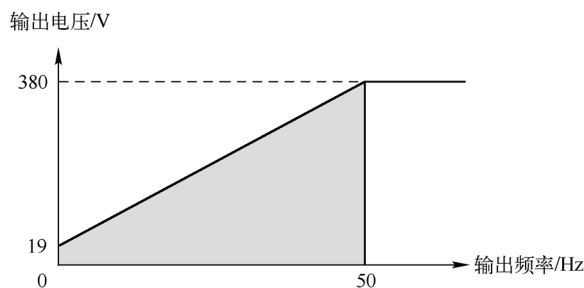
图 2.49 变频器运行  $V/f$  曲线

图 2.50 皮带传输机

习题 2.4 图 2.51 所示为三菱 A700 变频器控制接线,其功能要求实现正转、反转的端子控制,需要设定哪些参数?并根据启动时序图画出相对应的“输出频率 - 时间”曲线。

习题 2.5 对于电梯应用中的变频器来说(见图 2.52),哪种加减速方式最适合人体舒适度?以一种变频器为例进行加减速参数设定。

习题 2.6 图 2.53 所示为某变频器进行正转与反转运行过程,请结合现场变频器型号进行 A 点和 B 点的参数设定,以确保变频器正常工作。

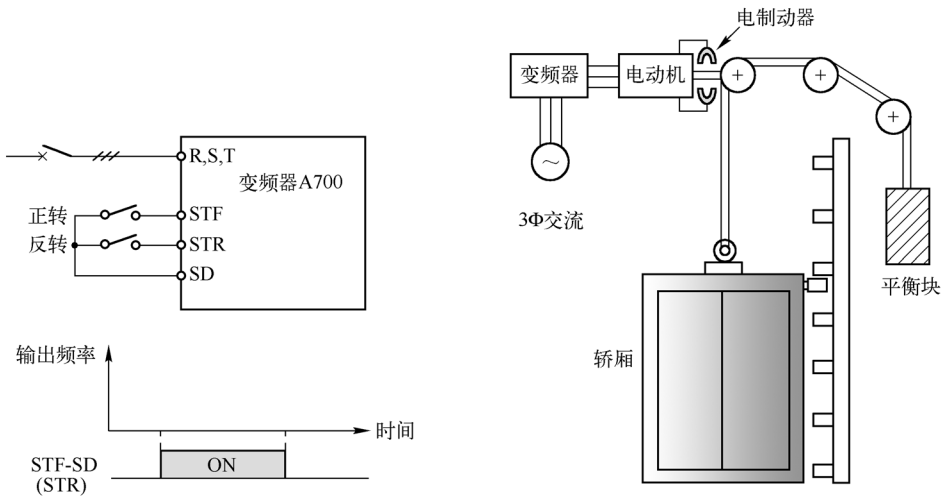


图 2.51 A700 变频器控制接线

图 2.52 变频器电梯应用

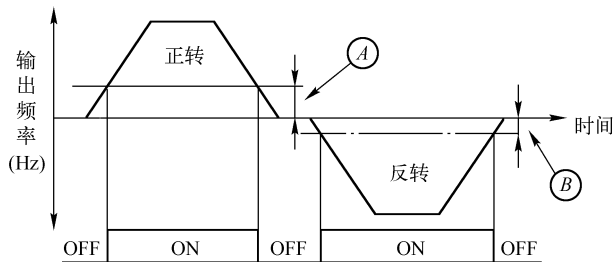


图 2.53 变频器正转与反转

习题 2.7 变频器既能工作在端子控制方式,也能工作在键盘工作方式,那么这两者之间如何切换?请阐述切换过程(如图 2.54 所示)。

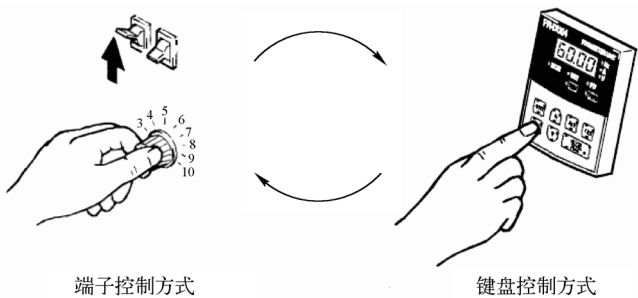


图 2.54 端子控制与键盘控制的切换

习题 2.8 在化工厂泵与搅拌机设备中,如果需要对搅拌机进行 4 段速控制与模拟量控制,该如何进行接线与设置参数?

习题 2.9 如何利用本项目所用到的多位转换开关 H5881/3,既能进行变频器启停,又能进行多段速控制?

# 中央空调风机的变频节能 PID 控制

中央空调系统广泛应用于工业与民用领域,其制冷压缩机组、冷冻循环水系统、冷却循环水系统、冷却塔风机系统、新风系统等的容量大多是按照建筑物最大制冷、制热负荷选定的,且再留有充足余量。因此变频风机已经成为中央空调节能的一个重要部分,它有如下突出的优点:节能潜力大,控制灵活,可避免冷冻水、冷凝水上顶棚的麻烦等。本项目通过充分利用变频器内置的各种功能,对合理设计变频调速恒温设备,降低成本,保证产品质量等方面有着非常重要的意义。

本项目的学习目标如下。



### 知识目标

了解 PID 的控制原理与实现过程;熟悉变频器 PID 的参数设置;掌握变频 PID 线路的基本组成及工作原理;掌握变频节能计算方法。



### 技能目标

能对 A700 变频器进行 PID 接线;能熟练掌握温度传感器及相关仪表的接线方法;能进行中央空调风机的变频 PID 接线,并运用节能计算方法进行节能预估。



### 职业素养目标

培养节能意识,并能正确对待变频器在应用过程中的利弊,充分认识到变频节能的重要性和科学性。



## 3.1 项目背景及要求

### 3.1.1 项目背景

中央空调系统已广泛应用于工业与民用领域,在宾馆、酒店、写字楼、商场、住院部大楼、工业厂房中的中央空调系统,其制冷压缩机组、冷冻循环水系统、冷却循环水系统、冷却塔风机系统、新风系统等的容量大多是按照建筑物最大制冷、制热负荷选定的,且再留有充足余量。在没有使用具备负载随动调节特性的控制系统中,无论季节、昼夜和用户负荷怎样变化,各电动机都长期固定在工频状态下全速运行,造成了能量的巨大浪费。近年来由于电价不断上涨,使得中央空调系统运行费用急剧上升,致使它在整个大厦营运成本费用中占据越来越大的比例,加之目前各生产、服务业竞争激烈,多数企业利润空间不够理想,因此电能费用的控制显然已经成为经营管理者所关注的问题所在。

据统计,中央空调的用电量占各类大厦总用电量的70%以上,其中中央空调水泵的耗电量占总空调系统耗电量的20%~40%,故节约低负荷时压缩机系统和水系统消耗的能量,具有很重要的意义。所以,随着负荷变化而自动调节变化的变流量变频空调水系统和自适应智能负荷调节的压缩机系统应运而生,并逐渐显示其巨大的优越性,而且得到越来越多的推广与应用。采用变频调速技术不仅能使空调系统发挥更加理想的工作状态,更重要的是通常其节能效果高达30%以上,能带来良好的经济效益。

中央空调系统一般主要由制冷压缩机系统、冷媒(冷冻和冷热)循环水系统、冷却循环水系统、盘管风机系统、冷却塔风机系统等组成。制冷压缩机组通过压缩机将制冷剂压缩成液态后送蒸发器中,冷冻循环水系统通过冷冻水泵将常温水泵入蒸发器盘管中与冷媒进行间接热交换,这样原来的常温水就变成了低温冷冻水,冷冻水被送到各风机风口的冷却盘管中吸收盘管周围的空气热量,产生的低温空气由盘管风机吹送到各个房间,从而达到降温的目的。冷媒在蒸发器中被充分压缩并伴随热量吸收过程完成后,再被送到冷凝器中去恢复常压状态,以便冷媒在冷凝器中释放热量,其释放的热量正是通过循环冷却水系统的冷却水带走的。冷却循环水系统将常温水通过冷却水泵泵入冷凝器热交换盘管后,再将这些已变热的冷却水送到冷却塔上,由冷却塔对其进行自然冷却或通过冷却塔风机对其进行喷淋式强迫风冷,与大气之间进行充分热交换,使冷却水变回常温,以便再循环使用。在冬季需要制热时,中央空调系统仅需要通过冷热水泵(在夏季称为冷冻水泵)将常温水泵入蒸汽热交换器的盘管,通过与蒸汽的充分热交换后再将热水送到各楼层的风机盘管中,即可向用户提供供暖热风。图3.1所示为典型的中央空调工作示意和空调风机。



目前的中央空调系统中,变频风机正在被广泛使用,它有如下突出的优点:节能潜力大,控制灵活,可避免冷冻水、冷凝水上顶棚的麻烦等。然而变频风机系统需要精心设计,精心施工,精心调试和精心管理,否则有可能产生诸如新风不足,气流组织不好,房间负压或正压过大,噪声偏大,系统运行不稳定,节能效果不明显等一系列问题。

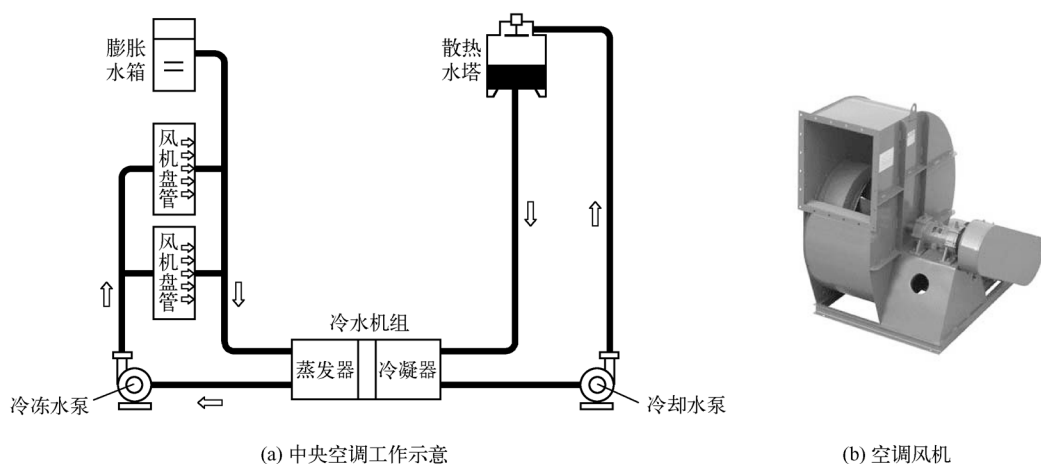


图 3.1 中央空调工作示意与空调风机

### 3.1.2 控制要求

在中央空调中,风机主要包括一次回风、二次回风、全新风等。图 3.2 所示为某一建筑物内的新风系统,其控制要求如下。

- (1) 空调风机为三相 380V 2.2kW;
- (2) 采用温度控制,能方便设定温度,并实时反映温度变化。

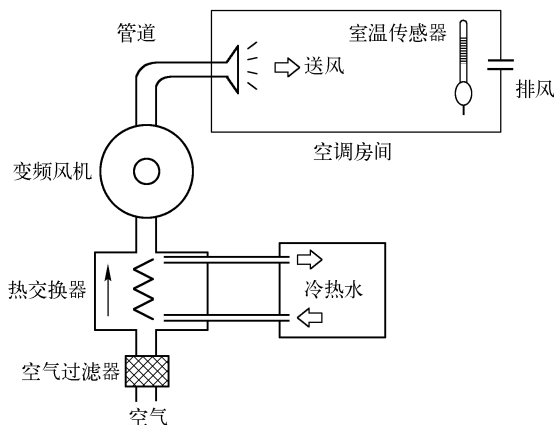


图 3.2 空调风机温度控制



## 3.2 知识讲座:PID 控制与变频器

### 3.2.1 变频器内置 PID 原理

PID 调节是过程控制中应用得十分普遍的一种控制方式,它是使控制系统的被控物理量能够迅速而准确地无限接近于控制目标的基本手段,在温度控制中也是如此。正由于 PID 功能用途广泛,使用灵活,使得现在变频器的功能大都集成了 PID,简称“内置 PID”,使用中只需设定三个参数( $K_p$ 、 $T_i$  和  $T_d$ )即可。

变频器的内置 PID 控制原理如图 3.3 所示。

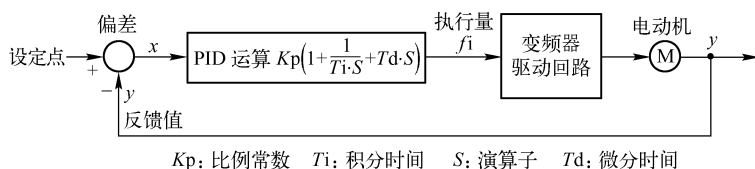


图 3.3 变频器内置 PID 控制原理

在很多情况下,并不一定需要全部比例、积分和微分三个单元,可以取其中的一到两个单元,但比例控制单元是必不可少的。在恒压供水控制中,因为被控压力量不属于大惯量滞后缓解,因此只需 PI 功能,D 功能可以基本不用。

要使变频器内置 PID 闭环正常运行,必须首先选择 PID 闭环选择功能有效,同时至少有两种控制信号:

- (1) 给定量,它是与被控物理量的控制目标对应的信号。
- (2) 反馈量,它是通过现场传感器测量的与被控物理量的实际值对应的信号。

图 3.4 所示就是通用变频器 PID 控制原理图。

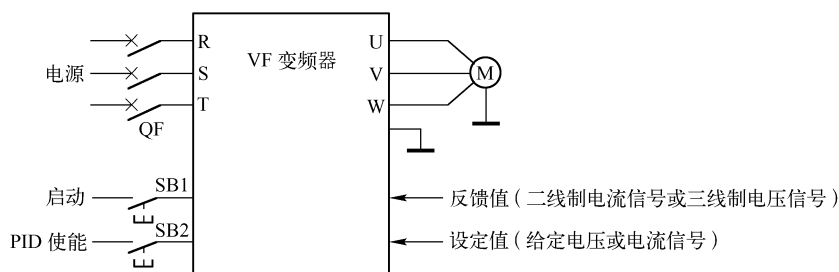


图 3.4 通用变频器 PID 控制原理图

PID 调节功能将随时对给定量和反馈量进行比较,以判断是否已经达到预定的控制目的。具体地说,它将根据两者的差值,利用比例 P、积分 I、微分 D 的手段对被控物理量进行调整,直至反馈量和给定量基本相等,达到预定的控制目标为止。





图 3.5 所示为通用变频器内置 PID 的控制校准过程。

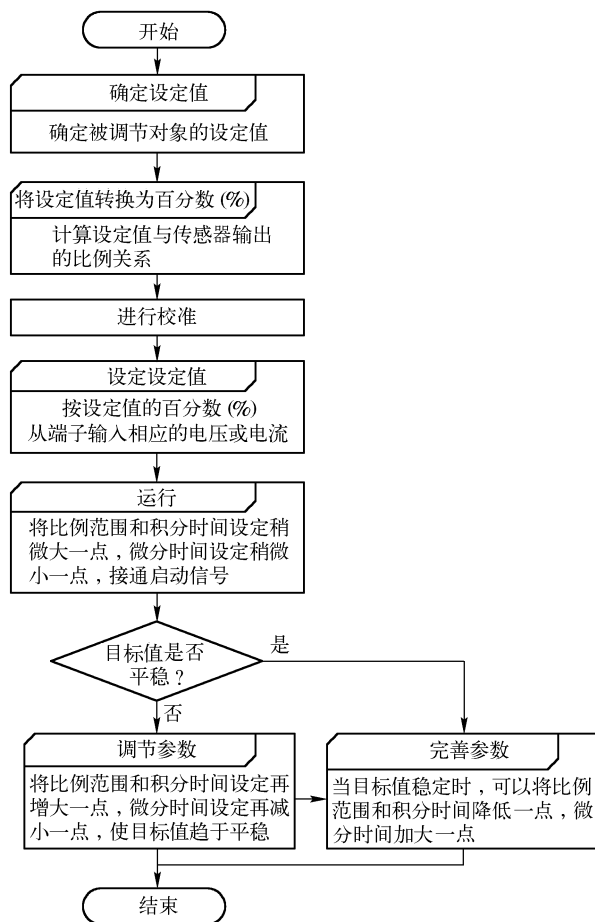


图 3.5 通用变频器内置 PID 的控制校准过程

### 3.2.2 中央空调变频风机的几种控制方式

#### 1. 变频风机的静压 PID 控制方式

送风机的空气处理装置是采用冷热水来调节空气温度的热交换器,冷、热水是通过冷、热源装置对水进行加温或冷却而得到的。大型商场、人员较集中且面积较大的场所常使用此类装置。图 3.6 所示给出了一个空气处理装置中中央空调送风机的静压控制系统。

在第一个空气末端装置的 75% ~ 100% 处设置静压传感器,通过改变送风机入口的导叶或风机转速的办法来控制系统静压。如果送风干管不止一条,则需设置多个静压传感器,通过比较,用静压要求最低的传感器控制风机。风管静压的设定值(主送风管道末端最后一个支管前的静压)一般取 250 ~ 375Pa 之间。若各通风口挡板开启数增加,则静

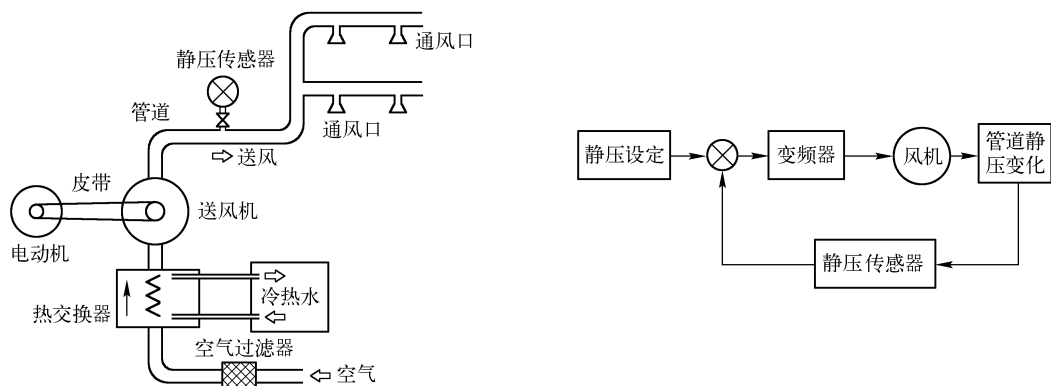


图 3.6 中央空调送风机的静压控制系统

压值比给定值低,控制风机转速增加,加大送风量;若各通风口挡板开启数减少,则静压值上升,控制风机转速下降,送风量减小,静压又降低,从而形成一个静压控制的 PID 闭环。

在静压 PID 控制算法中,通常采用两种方式,即定静压控制法和变静压控制法。定静压控制法是系统控制器根据设于主风道 2/3 处的静压传感器检测值与设定值的偏差,变频调节送风机转速,以维持风道内静压一定。变静压控制法即利用 DDC 数据通信技术,系统控制器综合各末端的阀位信号,来判断系统送风量盈亏,并变频调节送风机转速,满足末端送风量需要。由于变静压控制法在部分负荷下风机输出静压低,末端风阀开度大,噪声低,风机节能效果好,同时又能充分保证每个末端的风量需要。

控制管道静压的好处是有利于系统稳定运行并排除各末端装置在调节过程中的相互影响。此种静压 PID 控制方式特别适合于上下楼或被隔开的各个房间内用一台空气处理装置和公用管道进行空气调节的场合,如在商务大厦的标准办公层都得到了广泛的应用。

## 2. 变频风机的恒温 PID 控制方式

在室内空调有诸如舒适性等较高要求而空间又不是太大的空调区域内,可以使用恒温控制。恒温控制中必须注意以下几个方面:温控系统的热容量比较大,控制指令发出后,不是瞬间响应,响应速度慢;外界条件如气温、日照等对温控系统的影响很大;因为控制对象为气体,温度检测传感器的安装位置非常重要。

本控制方式利用了变频器内置的 PID 算法进行温度控制,当通过传感器采集的被测温度偏离所希望的给定值时,PID 程序可根据测量信号与给定值的偏差进行比例(P)、积分(I)、微分(D)运算,从而输出某个适当的控制信号给执行机构(变频器),提高或降低转速,促使测量值室温恢复到给定值,达到自动控制的效果,如图 3.7 所示。比例运算是指输出控制量与偏差的比例关系。积分运算的目的是消除静差。只要偏差存在,积分作用将控制量向使偏差消除的方向移动。比例作用和积分作用是对控制结果的修正动作,响应较慢。微分作用是为了消除其缺点而补充的。微分作用根据偏差产生的速度对输出量进行修正,使控制过程尽快恢复到原来的控制状态,微分时间是表示微分作用强度的单位。

恒温控制中必须要注意 PID 的正作用和反作用,也就是说在夏季(使用冷气)和冬季



(使用暖气)是不一样的。在使用冷气中,如果检测到的温度高于设定温度,变频器就必须加快输出频率;而在使用暖气中,如果检测到温度高于设定温度,则变频器就必须降低输出频率。因此,必须在控制系统增设夏季/冬季切换开关以保证控制的准确性。

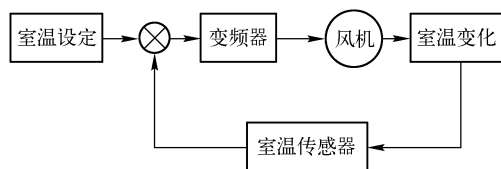


图 3.7 变频风机的恒温控制

### 3. 变频风机的多段速变风量控制方式

在大型的空调大楼中,由于所需要的空气量随着楼内人数及昼夜大气温度的变化而不同,所以相应地对风量进行调节可以减小输入风扇的电能并调整主机的热负载。人少时,如周末、节假日等,空气需求量少。所以考虑这些具体情况来改变吸气扇转速,控制进风量,可减少吸气扇电动机的能耗,同时还可以减轻输入暖气时锅炉的热负载和输入冷气时制冷机的热负载。

图 3.8 所示为某大楼在不同的工作时段内(平时、周六、周日/节假日)的风量需求,该风量必须根据二氧化碳浓度等环境标准来确定最少必需量。由于通常在设计中都留有一定的余量,因此可以按高速时 86%、中速时 67%、低速时 57% 的进风量来进行多段速控制。

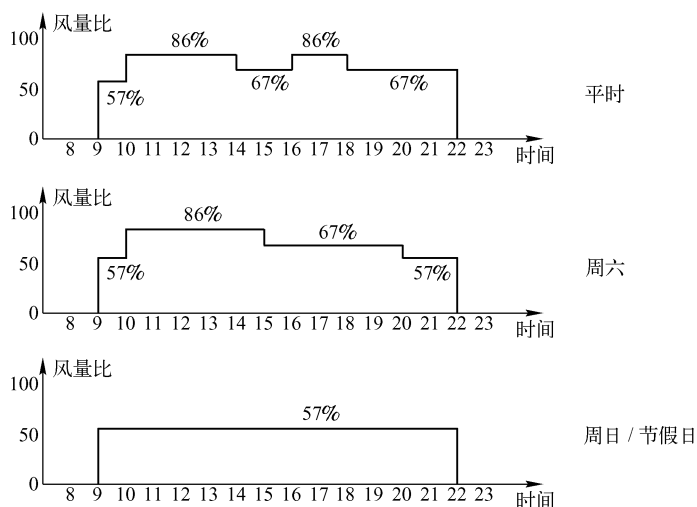


图 3.8 变频风机的多段速控制

该控制方式是基于对风量需求进行经验估算的基础上进行的程序控制。如在某地铁线的车站内安装有 4 台变频风机,整个系统由计算机控制。工作人员首先按照地铁客流峰谷表编好调温程序,控制风机转速:高峰时车站里温度高,变频风机吹出较大风量;人少时车站里温度相对较低,风机风量较小,从而站台的温度可控制在  $29^{\circ}\text{C}$ ,站厅温度控制在



30℃,乘客舒适度大为提高。

### 3.2.3 温度传感器及其相关仪表的选型

#### 1. 热电偶

热电偶传感器在环境温度检测中使用极为广泛。其主要优点是测温精度高;热电动势与温度在小范围内基本上呈单值、线性关系;稳定性和复现性较好,响应时间较快;测温范围宽。热电偶常用测温上限可达1 600℃,低温可达-200℃。

热电偶的工作原理为:如果两种不同成分的均质导体形成回路,直接测温端叫测量端,接线端子端叫参比端,当两端存在温差时,就会在回路中产生热电流,那么两端之间就会存在 Seebeck 热电势,即塞贝克效应。热电势随着测量端温度升高而增加,热电势的大小只和热电偶导体材质以及两端温差有关,和热电偶导体材质的长度、直径无关,如图 3.9 所示。

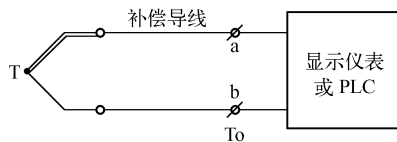


图 3.9 热电偶原理

常用热电偶可分为标准热电偶和非标准热电偶两大类。标准热电偶是指国家标准规定了其热电势与温度的关系、允许误差,并有统一的标准分度表的

热电偶,它有与其配套的显示仪表可供选用。非标准热电偶在使用范围或数量级上均不及标准热电偶,一般也没有统一的分度表,主要用于某些特殊场合的测量。我国热电偶全部按 IEC 国际标准生产,并指定 S、B、E、K、R、J、T 七种标准热电偶为统一设计型热电偶。

由于热电偶的材料一般都比较贵重(特别是采用贵金属时),而测温点到仪表的距离都很远,为了节省热电偶材料,降低成本,通常采用补偿导线把热电偶的冷端(自由端)延伸到温度比较稳定的控制室内,连接到仪表或 PLC 端子上。必须指出,热电偶补偿导线的作用只是延伸热电极,使热电偶的冷端移动到控制室的仪表端子上,它本身并不能消除冷端温度变化对测温的影响,不起补偿作用。因此,还需采用其他修正方法来补偿冷端温度  $t_0 \neq 0^\circ\text{C}$  时对测温的影响。在使用热电偶补偿导线时必须注意型号相配,极性不能接错,补偿导线与热电偶连接端的温度不能超过 100℃。

#### 2. 热电阻

热电阻是温度检测中使用的另外一种测温元件。热电阻利用物质在温度变化时本身电阻也随着发生变化的特性来测量温度。热电阻的受热部分(感温元件)用细金属丝均匀地缠绕在绝缘材料制成的骨架上,当被测介质中有温度梯度存在时,所测得的温度是感温元件所在范围内介质层中的平均温度。它的主要特点是测量精度高,性能稳定。其中铂热电阻的测量精确度最高。接线如图 3.10 所示。

#### 3. 温度传感器相关仪表

由于热电偶或热电阻都不能输出变频器所能接收的 0~10V 或 4~20mA 信号,而且本项目要求能够显示实时温度数据,因此,必须再增加一个温度传感器的相关仪表。



图 3.11 所示是国产 XMZ60X 系列智能仪表。

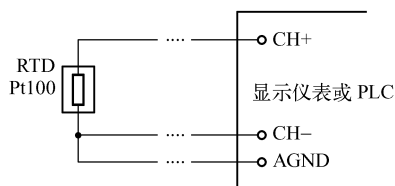


图 3.10 热电阻原理



图 3.11 国产 XMZ60X 系列智能仪表

XMZ 系列智能仪表集成显示、控制、变送等功能,可输入热电偶、热电阻、标准电流、标准电压信号,可显示、控制温度、压力液位、转速、酸碱度、pH 值等物理量。XMZ 广泛应用于热力、化工、机电设备、市政工程、楼宇自控等行业,是组成各种自动控制系统的理想产品。

XMZ 系列智能仪表具有如下特点:模块化设计、SMT 工艺、高性能开关电源供电;19 种信号兼容输入,量程、小数点可任意设定、修正,如表 3.1 所示;输入信号任意选择,热电偶输入自带冷端温度补偿;隔离电流、电压变送输出(12 位分辨力),输出范围任意设定,如表 3.2 所示;两路继电器输出,每一个继电器可自由设定为上限或下限控制,继电器吸合值和释放值(带回差)可任意设定。

表 3.1 输入信号

输入信号编号	输入信号	显示范围	分辨力	精度	输入电阻
00	T 分度号热电偶	-200 ~ 400℃	1℃	0.2%	100kΩ
01	R 分度号热电偶	-50 ~ 1 600℃	1℃	0.2%	100kΩ
02	J 分度号热电偶	-200 ~ 1 200℃	1℃	0.2%	100kΩ
03	WRe3 ~ WRe25 热电偶	0 ~ 2 300℃	1℃	0.2%	100kΩ
04	B 分度号热电偶	350 ~ 1 800℃	1℃	0.2%	100kΩ
05	S 分度号热电偶	-50 ~ 1 600℃	1℃	0.2%	100kΩ
06	K 分度号热电偶	-200 ~ 1 300℃	1℃	0.2%	100kΩ
07	E 分度号热电偶	-200 ~ 900℃	1℃	0.2%	100kΩ
08	Pt100 分度号热电偶	-2 000 ~ 6 000℃	0.1℃	0.2%	(0.2mA)
09	Cu50 分度号热电偶	-500 ~ 1 500℃	0.1℃	0.2%	(0.2mA)
10	0 ~ 375Ω 远传压力	量程低限值和量程高限值在 -1 999 ~ 9 999 范围内任意设定	16 位 A/D 使信号对应显示值在整个 -1 999 ~ 9 999 显示范围内保持连续	0.2%	(0.2mA)
11	0 ~ 75mV 电流分流器			0.1%	100kΩ
12	0 ~ 30mV			0.1%	100kΩ
13	0 ~ 5V 标准信号			0.1%	100kΩ
14	1 ~ 5V 标准信号			0.1%	100kΩ
15	0 ~ 10V 标准信号			0.1%	100kΩ
16	0 ~ 10mA 标准信号			0.1%	150Ω
17	0 ~ 20mA 标准信号			0.1%	150Ω
18	4 ~ 20mA 标准信号			0.1%	150Ω



表 3.2 输出信号

变送输出编号	电 流 输 出	变 送 范 围	精度	输出对输入隔离电压	负 载 能 力	开 路 电 压
00	4 ~ 20mA	将变送设定范围内的数据,变换为标准电流信号输出	0.3%	1 500V	≤500Ω	15V
01	0 ~ 20mA					

以本项目选用的 XMZ601B 智能仪表为例,图 3.12 所示为具体的接线。

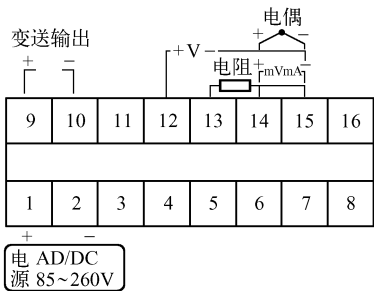


图 3.12 XMZ601B 接线示意

### 3.3 技能训练一：A700 变频器 PID 控制线路设计

#### 3.3.1 A700 变频器 PID 操作

表 3.3 所列为三菱 A700 变频器常用的 PID 相关参数,它主要包括 PID 调节参数和 PID 通道参数。A700 的 PID 主要用流量、风量、压力、温度等工艺控制,由端子 2 输入信号或参数设定值作为目标,端子 4 输入信号作为反馈量组成 PID 控制的反馈系统。

表 3.3 三菱 A700 变频器常用的 PID 相关参数

参数号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容	
127	PID 控制自动切换频率	9 999	0 ~ 400Hz	设定自动切换到 PID 控制的频率	
			9 999	无 PID 控制自动切换功能	
128	PID 动作选择	10	10	PID 负作用	偏差量信号输入(端子 1)
			11	PID 正作用	
			20	PID 负作用	测定值(端子 4)
			21	PID 正作用	目标值(端子 2 或 Pr. 133)
			50	PID 负作用	偏差值信号输入(LONWORKS, CC-Link 通信)
			51	PID 正作用	
			60	PID 负作用	测定值,目标值输入(LONWORKS, CC-Link 通信)
			61	PID 正作用	



续表

参数号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容
129	PID 比例带	100%	0.1 ~ 1 000%	如果比例常数范围较窄(参数设定值较小),反馈量的微小变化会引起执行量的很大变化。因此,随着比例范围变窄,响应的灵敏性(增益)得到改善,但稳定性变差,如发生振荡。 增益 $K_p = 1/\text{比例常数}$
			9 999	无比例控制
130	PID 积分时间	1 s	0.1 ~ 3 600s	在偏差步进输入时,仅在积分(I)动作中得到与比例(P)动作相同的操作量所需要的时间( $T_i$ )。随着积分时间的减少,到达设定值就越快,但也容易发生振荡
			9 999	无积分控制
131	PID 上限	9 999	0 ~ 100%	设定上限。如果反馈量超过此设定,就输出 FUP 信号。测定值(端子 4)的最大输入(20mA/5V/10V)等于 100%
			9 999	功能无效
132	PID 下限	9 999	0 ~ 100%	设定下限。如果检测值超过此设定,就输出 FDN 信号。测定值(端子 4)的最大输入(20mA/5V/10V)等于 100%
			9 999	功能无效
133	PID 目标设定	9 999	0 ~ 100%	设定 PID 控制时的设定值
			9 999	端子 2 输入为目标值
134	PID 微分时间	9 999	0.01 ~ 10.00s	在偏差指示灯输入时,仅得到比例(P)动作的操作量所需要的时间( $T_d$ )。随着微分时间的增大,对偏差的变化的反应也加大
			9 999	无微分控制

### 3.3.2 A700 变频器 PID 构成与动作

#### 1. PID 的基本构成

图 3.13(a)所示为 PID 控制参数 Pr.128 = 10 或 11(偏差信号输入)时的原理,图 3.13(b)所示为 Pr.128 = 20 或 21(测定信号输入)时的原理。

#### 2. PID 动作过程

图 3.14 所示为 PID 调节参数 Pr.129、Pr.130 和 Pr.134 设定之后的动作过程,称为 P 动作、I 动作和 D 动作的三者之和。

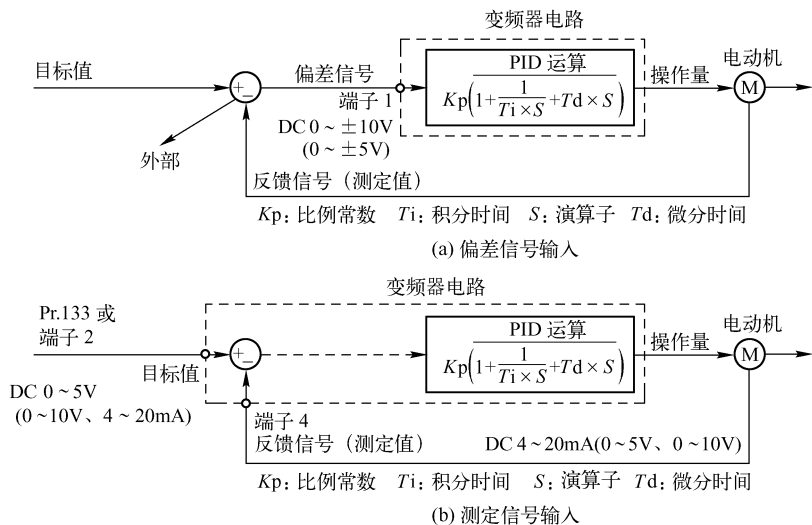


图 3.13 PID 框图

3. PID 的自动切换

为了加快 PID 控制运行时开始阶段的系统上升过程,可以仅在启动时以通常模式上升。Pr. 127 可以设置自动切换频率,从启动到 Pr. 127 以通常模式运行,待频率达到该设定值后,才转为 PID 控制。如图 3.15 所示为 PID 自动切换控制。当然,从图中也可以看出,Pr. 127 的设定值仅在 PID 运行时有效,其他阶段无效。

4. PID 信号输出功能

在很多控制案例中,需要输出 PID 控制过程的各种状态,尤其是 PID 目标值、PID 测定值和 PID 偏差值。A700 变频器提供了这些信号直接输出到 CA 和 AM 端子,具体设定参数如表 3.4 所示。

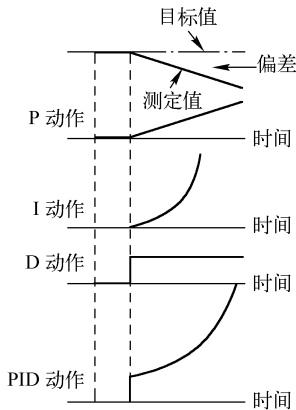


图 3.14 PID 动作过程

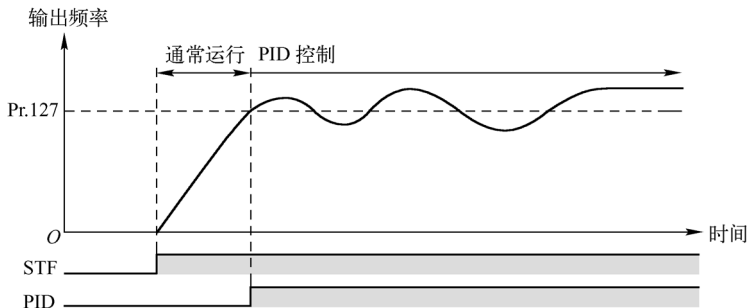


图 3.15 PID 自动切换控制





表 3.4 PID 信号输出功能

设定值	监视内容	最小单位	端子 CA,AM 满刻度	备 注
52	PID 目标值	0.1%	100%	偏差输入(Pr.128=10,11)时,监视值通常显示 0
53	PID 测定值	0.1%	100%	
54	PID 偏差值	0.1%	—	Pr.54,Pr.158 无法设定。PID 偏差为 0% 时显示 1 000

### 5. PID 的正、负作用

在 PID 作用中,存在两种类型,即负作用与正作用。负作用是当偏差信号(目标值-测量值)为正时,增加频率输出,如果偏差为负,则频率输出降低。正作用的动作顺序刚好相反,具体如图 3.16 所示。

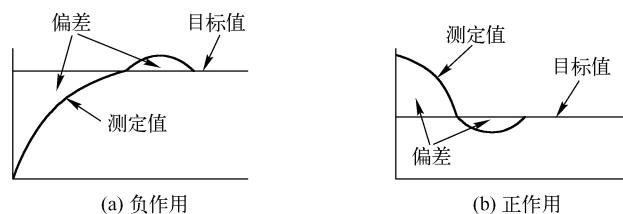


图 3.16 正、负作用

以温度控制为例,在冬天的暖气控制时为负作用,如图 3.17 所示;在夏天的冷气控制时为正作用,如图 3.18 所示。

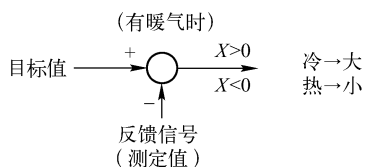


图 3.17 温度负作用

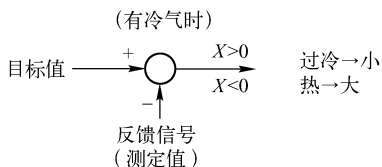


图 3.18 温度正作用

正、负作用与偏差如表 3.5 所示。

表 3.5 正、负作用与偏差

正、负作用 \ 偏 差	偏 差	
	正	负
负作用	$\nearrow$	$\searrow$
正作用	$\searrow$	$\nearrow$

## 3.4 技能训练二:变频器 A700 的节能计算

### 3.4.1 节能监视器

表达风机基本特性的参数是风量  $Q$ 、风压  $H$ 、功率  $P$  和效率  $\eta$ 。当风机的转速从  $n_1$  变为



$n_2$  时,  $Q$ 、 $H$ 、 $P$  大致变化关系为:  $Q_2 = Q_1 (n_2/n_1)$ ,  $H_2 = H_1 (n_2/n_1)^2$ ,  $P_2 = P_1 (n_2/n_1)^3$ 。

由式中可知, 风机功率同风机转速的立方成正比, 所以当风机的转速变化时, 风机的功率会有较大的变化。通过以上分析知道, 对风机采用变频调速达到对风量的调节比通常采用调节风门挡板控制风量的方法有显著的节电效果。

变频器 A700 能通过一些参数的设定进行节能监视, 这对于风机类负载来说尤为重要。

(1) 变频器能通过节能监视器 (Pr. 52、Pr. 54、Pr. 158 = “50”) 进行监视的项目如表 3.6 所示。

表 3.6 节能监视器一

序号	节能监视器项目	内容和计算式	单 位	参 数 设 定		
				Pr. 895	Pr. 896	Pr. 897
①	节约功率	以工频运行时根据必要的功率的估计值和参数计算的输入功率的差工频运行时电力 - 输入电力监视器	0.01kW/0.1kW	9 999	—	9 999
②	节电率	工频运行时为 100% 的省电力的比例 $\frac{\text{①节约功率}}{\text{工频运行电力}} \times 100\%$	0.1%	0		
		以 Pr. 893 为 100% 的省电力的比例 $\frac{\text{①节约功率}}{\text{Pr. 893}} \times 100\%$		1		
③	平均节电率	一定时间 (Pr. 897) 中的省电力的时间的平均值 $\frac{\sum (\text{①节约功率} \times \Delta t)}{\text{Pr. 897}}$	0.01kW·h/ 0.1kW·h	9 999	9 999	0 ~ 1 000h
④	省电率平均值	以工频运行时为 100% 的省电力平均值的比例 $\frac{\sum (\text{②节电率} \times \Delta t)}{\text{Pr. 897}} \times 100\%$	0.1%	0		
		以 Pr. 893 为 100% 的省电力平均值的比例 $\frac{\text{③平均节电率}}{\text{Pr. 893}} \times 100\%$		1		
⑤	平均节能折算金额	省电力平均值的费用换算值 ③平均节电率 $\times$ Pr. 896	0.01/0.1	—	0 ~ 500	

(2) 变频器能通过节能监视器 (Pr. 52 = “51”) 进行监视的项目如表 3.7 所示。

表 3.7 节能监视器二

序号	节能监视器项目	内容和计算式	单 位	参 数 设 定	
				Pr. 896	Pr. 899
⑥	节能量	通过累计省电力 $\sum (\text{①节约功率} \times \Delta t)$	0.01kW·h/ 0.1kW·h	9 999	9 999
⑦	节能折算金额	省电力的费用换算值 ⑥节能量 $\times$ Pr. 896	0.01/0.1	0 ~ 500	



续表

序号	节能监视器项目	内容和计算式	单 位	参 数 设 定	
				Pr. 896	Pr. 899
⑧	年节能量	年度的省功率力的估计值 $\frac{\text{⑥节能量}}{\text{省电力累计中的运行时间}} \times 24 \times 365 \times \frac{\text{Pr. 899}}{100}$	0.01kW·h/ 0.1kW·h	9 999	0 ~ 100%
⑨	年节能折算金额	年度省电力和费用换算 $\text{⑧年节能量} \times \text{Pr. 896}$	0.01/0.1	0 ~ 500	

### 3.4.2 节能瞬时、节能平均和节能累计值

#### 1. 节能瞬时监视器(①省电,②省电率)

(1) 节能监视器(①)计算相对于工频运行时的消耗电力(推算值)的省电效果(差分),并显示在主监视器上。

(2) 下列情况下,省电监视器(①)为“0”:

- ① 节能监视器的计算值为负值;
- ② 直流制动工作时;
- ③ 未连接监视器(输出电流监视器为0A)。

(3) 节能率监视器(②)通过将 Pr. 895 节能率标准值设定为“0”,可以显示将工频运动时的消耗电力(推算值)定为 100% 时的省电率。另外,将 Pr. 895 设定为“1”,可以显示将 Pr. 893 节能监视器标准(电动机容量)的设定值定为 100% 时的节能率。

#### 2. 节能平均值监视器(③节能平均值,④节能率平均值,⑤节能费平均值)

(1) 节能平均值监视器在将 Pr. 897 省电监视器平均时间设定为 9 999 以外的值后可以显示。

(2) 节能平均值监视器(③)按平均时间显示省电量的单位时间平均值。

(3) 平均值的更新以更改了 Pr. 897 的设定时,或电源接通时,或变频器复位时为起点,每隔平均时间后进行更新。

(4) 每次更新平均值后,节能平均值更新时间信号(Y92)均反转。

(5) 节能率平均值监视器(④)在将 Pr. 895 节能率标准值设定为“0”或“1”时,每隔平均时间显示省电率②的单位时间平均值。

(6) 节能费平均值监视器(⑤)在将 Pr. 896 节能单价设定了每 1kW·h 的费用(电力单价)后,显示相对于省电平均值的费用(省电平均值(③)×Pr. 896)。

如图 3.19 所示为节能平均值的计算与 Y92 输出信号。

#### 3. 节能累计监视器(⑥节能量,⑦节能量费用,⑧年度省电量,⑨年度节能量费用)

(1) 节能累计监视器仅相对于 Pr. 891 累计电功率监视器移位次数的数值,将监视器数据向右移位。

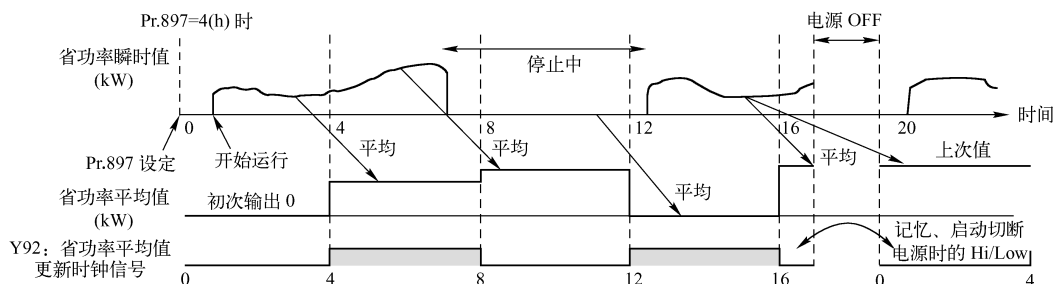


图 3.19 节能平均值的计算与 Y92 输出信号

例如, Pr. 891 = “2” 时, 累计电功率值为  $1\,278.56\text{kW} \cdot \text{h}$ , PU/DU 显示为 12.78 ( $100\text{kW} \cdot \text{h}$  单位的显示), 通信数据为 12。

Pr. 891 = “0 ~ 4” 时, 如果超过上限值, 则在上限值锁定, 显示出需要移位。

Pr. 891 = “9 999” 时, 如果超过上限值, 则返回为 0, 重新开始计数。

其他监视器会在显示上限值处锁定。

(2) 节能量监视器(⑥)可以测量一定期间的电量。请按下述步骤进行测量。

① 在 Pr. 898 节能累计监视器清除中写入“9 999”或“10”。

② 在实际开始测量的时间将 Pr. 898 中写入“0”以清除节能累计监视器值, 开始省电累计。

③ 在结束测量的时间将 Pr. 898 中写入“1”保持节能累计监视器值。

#### 4. 工频运行时的功率估计(见图 3.20)

(1) 输出工频运行特性曲线, 从入口侧风门控制(风机)、出口侧吸入式风门控制(风扇)、阀门控制(泵)、工频驱动 4 种特性曲线中选择, 设定为 Pr. 894 工频时控制选择。

(2) 根据 Pr. 893 节能基准(电动机容量)设定电动机容量(泵容量)。

(3) 在图 3.20 中根据各运行特性曲线和对额定的转速比(现在的输出频率/Pr. 3 基准频率)估计工频运行时的消耗功率(%)。

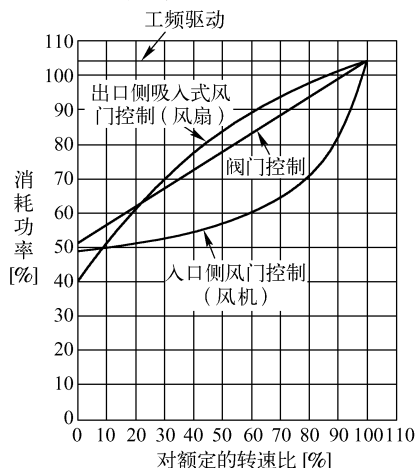


图 3.20 消耗功率与对额定的转速比



(4) 根据 Pr. 893 设定的电动机容量和 Pr. 892 负载率,通过以下公式计算工频时消耗电力估计值(kW)。

$$\text{工频时消耗电力估计值(kW)} = \text{Pr. 893(kW)} \times \frac{\text{消耗电力(%)}}{100} \times \frac{\text{Pr. 892(%)}}{100}$$

### 3.4.3 年度省电量和节能费用

(1) 通过在 Pr. 899 设定运动时间率[%](1年内,实际通过变频器驱动电动机的时间的比例),能够预测年度的节能效果。

(2) 在某种程度运行特性曲线固定时,能够根据一定的测定期间省电力的测定,计算出年度的省电量的估计值。

(3) 请参照以下方式设定运行时间率。

① 预测1日运行的平均时间[h/日]。

② 计算年度的运行日数(月平均运行日数×12月)。

③ 根据①和②计算出年度的运行时间[h/年]。

$$\text{年度运行时间(h/年)} = \text{平均时间(h/日)} \times \text{运行日数(日/年)}$$

④ 计算出运行时间率,设定为 Pr. 899。

$$\text{运行时间率( \% )} = \frac{\text{年度运行时间(h/年)}}{24(\text{h/日}) \times 365(\text{日/年})} \times 100(\%)$$

(4) 通过 Pr. 899 运行时间率(估计值)和省电力平均值监视器计算出年度省电量。

$$\text{年度省电量(kW} \cdot \text{h/年)} = \text{累计计算期间的省电力平均值(kW)} \times 24\text{h} \times 365\text{日} \times \frac{\text{Pr. 899}}{100}$$

(5) 根据 Pr. 896 电力单价设定每小时的电力费用,能够监视年度省电力费用。

年度省电力费用根据以下的公式计算。

$$\text{年度省电力费用} = \text{年度省电量(kW} \cdot \text{h/年)} \times \text{Pr. 896}$$

举例说明:

每日运行21h,月平均运行日数为16日,则

$$\text{年度运行时间} = 21(\text{h/日}) \times 16(\text{日/月}) \times 12\text{月} = 4\,032(\text{h/年})$$

$$\text{运行时间率( \% )} = \frac{4\,032(\text{h/年})}{24(\text{h/日}) \times 365(\text{日/年})} \times 100(\%) \approx 46.03\%$$

Pr. 899 中设定为 46.03%。

### 3.4.4 实际工程中风机和泵类负载的节能计算

通过调查发现,一个厂矿企业的电费约有70%消耗在风机、泵类、空气压缩机、制冷压缩机等通用机械的负载上,因此如何提高传统的负载运转效率是厂矿企业提高企业效益的一项重要工作。

传统风机、泵类、空气压缩机、制冷压缩机的流量控制大部分采用调节阀门、风门挡板开启度放流或启停电动机的方式,如果能将效率提高到95%,那么就能节省约



50%的电费。将电动机的容量、每度电费金额及每日运转小时数相乘,就可以估算出每日节省的电费金额。

在调查中也发现这样的—个经验,即对水泥厂和化工厂的罗茨风机、自来水厂水泵、工厂锅炉鼓风机和引风机、酒厂和制药厂的循环水泵、中央空调的水循环泵等进行节能改造,一般投资回收时间为6~16个月,属于投资效益极佳的节能改造项目。

1. 不同流量控制方法的耗电量

表3.8所示是对100kW的离心水泵的流量通过三种流量控制方法,即变频器控制、输入阀门控制和输出阀门控制得出的实际耗电量。

表 3.8 水泵 100kW 三种流量控制方法的耗电量实测比较

流量/%	轴功率/%	变频器控制		输入阀门控制		输出阀门控制	
		用电/kW	总损失/kW	用电/kW	总损失/kW	用电/kW	总损失/kW
100	100.0	108	8.0	106.0	6.0	107.0	7.0
90	72.9	79	6.0	84.0	11.1	103.5	30.6
80	51.2	55	3.8	72.5	21.3	99.5	48.3
70	34.3	38	3.7	68.0	33.7	95.5	60.7
60	21.6	25	3.4	64.0	42.4	89.5	67.9
50	12.5	15	2.5	60.0	47.5	84.0	71.5
40	6.4	9	2.6	56.0	49.6	77.5	71.1
30	2.7	5	2.3	52.0	47.3	71.0	68.3

2. 节能计算

对于风机、泵类设备采用变频调速后的节能效果,通常采用以下三种方式进行计算。

(1) 根据已知风机、泵类在不同控制方式下的流量-负载关系曲线和现场运行的负荷变化情况进行计算。

以一台 BDC300-400/D3S 型离心泵为例,额定流量 1 025m<sup>3</sup>/h,扬程 278m;配备 YLBT500-4 型电动机,额定功率 1 060kW。泵在阀门调节和转速调节时的流量-负载曲线如图 3.21 所示。根据运行要求,水泵连续 24h 运行,其中每天 11h 运行在 90% 负荷,13h 运行在 50% 负荷;全年运行时间在 300 天。则每年的节电量为

$$W_1 = 1\,060 \times 11 \times (100\% - 69\%) \times 300 = 1\,084\,380 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_2 = 1\,060 \times 13 \times (95\% - 20\%) \times 300 = 3\,100\,500 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W = W_1 + W_2 = 1\,084\,380 + 3\,100\,500 = 4\,184\,880 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

每度电按 0.5 元计算,则每年可节约电费 209 万元。由此可见,高压变频调速技术在变负荷设备中应用,其节电效果是相当显著的。

(2) 根据风机、泵类平方转矩负载关系式:  $P/P_0 = (n/n_0)^3$  计算,式中  $P_0$  为额定转速



$n_0$  时的功率;  $P$  为转速  $n$  时的功率。

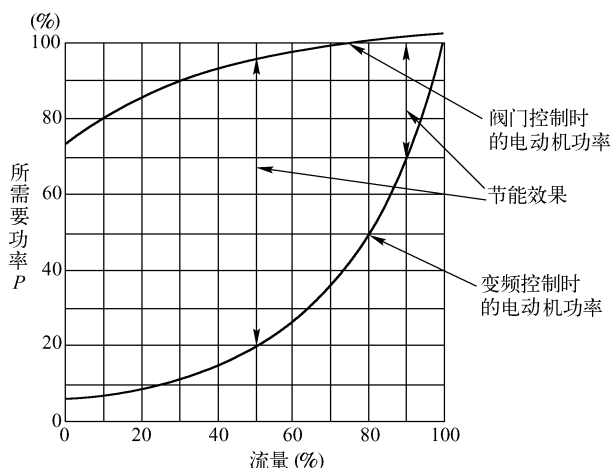


图 3.21 离心泵 BDC300-400/D3S 的流量 - 负载曲线

以电厂 25MW 发电机组配备的 355kW 送风机为例。运行工况仍为 24h 连续运行,其中每天 11h 运行在 90% 负荷(对应变频运行频率 46Hz,挡板调节时电动机功耗 98%),13h 运行在 60% 负荷(对应变频运行频率 30Hz,挡板调节时电动机功耗 70%);全年运行时间以 300 天为计算依据。则变频调速时每年的节电量为

$$W_1 = 355 \times 11 \times [1 - (46/50)^3] \times 300 = 259\,267.01 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_2 = 355 \times 13 \times [1 - (30/50)^3] \times 300 = 1\,085\,448 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_b = W_1 + W_2 = 259\,267.01 + 1\,085\,448 = 1\,344\,715.01 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

挡板开度时的节电量为

$$W_1 = 355 \times (1 - 98\%) \times 11 \times 300 = 23\,430 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_2 = 355 \times (1 - 70\%) \times 13 \times 300 = 415\,350 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_d = W_1 + W_2 = 23\,430 + 415\,350 = 438\,780 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

相比较节电量为:  $W = W_b - W_d = 1\,344\,715.01 - 438\,780 = 905\,935.01 \text{ kW} \cdot \text{h}$

以每度电价 0.5 元计算,则采用变频调速每年可节约电费 45.3 万元。

通过以上两种常见设备工况下的节能计算也可以看出,变频调速技术的应用在风机和泵类上具有显著的节能降耗效果。当然,由于各种工业现场的负载、运行工况、控制目标的差异,在计算方式上存在很大的区别;因此,针对实际问题要采取不同的原始数据和计算公式。

(3) 根据 GB12497 对电动机经济运行管理的规定有如下的计算公式,即采用挡板调节流量对应电动机输入功率  $P_{IV}$  与流量  $Q$  的关系为

$$P_{IV} \approx [0.45 + 0.55(Q/Q_N)^2] P_{Ie}$$

式中,  $P_{Ie}$  为额定流量时电动机输入功率(kW),  $Q_N$  为额定流量。

节电率  $K_i$  的计算公式为



$$K_i = \frac{P_{IV} - P_{le}(Q/Q_N)^3}{P_{IV}} = 1 - \frac{(Q/Q_N)^3}{0.45 + 0.55(Q/Q_N)^2}$$

例如,某水泥厂机立窑离心风机 245kW,电动机 4 极,实际用风量为 0.6~0.7,准备改造为变频器驱动,估算节电率和投资回收期。

取  $Q/Q_N = 0.65$ , 则

$$K_i = 1 - \frac{(0.65)^3}{0.45 + 0.55 \times (0.65)^2} \approx 0.6$$

$$P_{IV} = [0.45 + 0.55 \times (0.65)^2] \times 245 = 0.6428 \times 245 = 157(\text{kW})$$

采取风门调节风量时风机所需的轴功率为 157kW,变频器调速器调风量时相对调节风门调风量的节电率为 0.6。该设备的年节电量,每年按 300 天计算。

$$24 \times 300 \times 157 \times 60\% = 678\,240 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

年节电费(电价 0.5 元/kW·h)为  $0.5 \times 678\,240 \approx 34$  万元

假如该变频装置为 18 万元,则可以计算投资回收期 = 设备投资总额(万元) ÷ 年节电费(万元) =  $18 \div 34 \approx 0.53$  (年)  $\approx 6$  (个月)

由此可得出,该水泥厂机立窑离心风机采用变频器驱动后,年节电量 678 240kW·h,年节电费 34 万元,投资回收期 6 个月,技术经济效益可观。

## 3.5 项目设计方案

### 3.5.1 中央空调风机的变频节能硬件设计

如图 3.22 所示为该恒温变频控制系统的示意,其中变频器选用 A700 变频器,并采用内置 PID 运行控制。

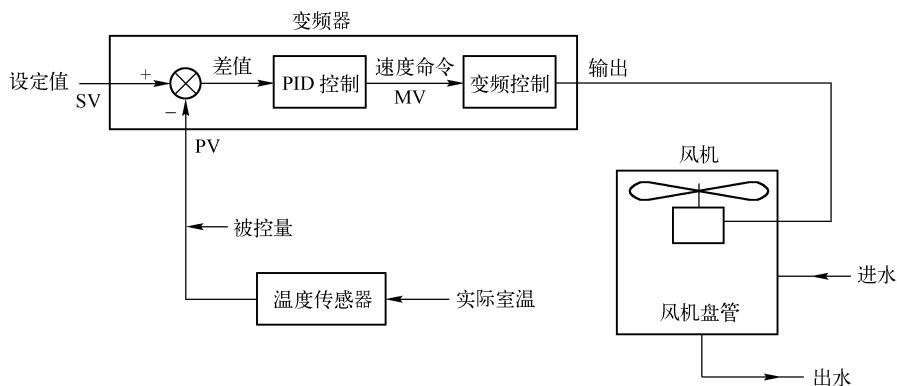


图 3.22 恒温变频控制系统

由于 PID 控制对变频器的输入、输出端子要求比较高,所以表 3.9 和表 3.10 列出了在 PID 控制中常用的一些端子和功能。





表 3.9 变频器 PID 用多功能输入端子和模拟量输入

信号	使用端子	功 能	内 容	参 数 设 定
X14	通过	PID 控制选择	进行 PID 控制时将 X14 置于 ON	Pr. 178 ~ Pr. 189 中的任意一个设定为 14
X64	Pr. 178 ~ Pr. 189	PID 正、负作用切换	将 X64 置于 ON, PID 负作用时 (Pr. 128 = 10, 20) 能够切换到正作用, 正作用 (Pr. 128 = 11, 21) 时能够切换到负作用	Pr. 178 ~ Pr. 189 中的任意一个设定为 64
2	2	目标值输入	输入 PID 控制的目标值	Pr. 128 = 20, 21 Pr. 133 = 9 999
			0 ~ 5...0% ~ 100%	Pr. 73 = 1, 3, 5, 11, 13, 15
			0 ~ 10V...0% ~ 100%	Pr. 73 = 0, 2, 4, 10, 12, 14
			4 ~ 20mA...0% ~ 100%	Pr. 73 = 6, 7
PU	—	目标值输入	从操作面板、参数单元中设定目标值 (Pr. 133)	Pr. 128 = 20, 21 Pr. 133 = 0 ~ 100%
1	1	偏差信号输入	输入在外部计算的偏差信号	Pr. 128 = 10, 11
			-5 ~ +5V...-100% ~ +100%	Pr. 73 = 2, 3, 5, 7, 12, 13, 15, 17
			-10 ~ +10V...-100% ~ +100%	Pr. 73 = 0, 1, 4, 6, 10, 11, 14, 16
4	4	测量值输入	输入检测器发出的信号 (测量值信号)	Pr. 128 = 20, 21
			4 ~ 20mA...0% ~ 100%	Pr. 267 = 0
			0 ~ 5V...0% ~ 100%	Pr. 267 = 1
			0 ~ 10V...0% ~ 100%	Pr. 267 = 2
通信	—	偏差值输入	从 LONWORKS, CC-Link 通信输入偏差值	Pr. 128 = 50, 51
		目标值、测量值输入	从 LONWORKS, CC-Link 通信输入目标值和测定值	Pr. 128 = 60, 61

表 3.10 变频器 PID 用多功能输出端子

信号	使用端子	功 能	内 容	参 数 设 定
FUP	按照 Pr. 190 ~ Pr. 196 的设定	上限输出	测量信号超出上限值 (Pr. 131) 时输出	Pr. 128 = 20, 21, 60, 61 Pr. 131 ≠ 9 999 Pr. 190 ~ Pr. 196 中的任意一个设定为 15 或 115
FDN		下限输出	测量信号超出下限值 (Pr. 132) 时输出	Pr. 128 = 20, 21, 60, 61 Pr. 132 ≠ 9 999 Pr. 190 ~ Pr. 196 中的任意一个设定为 14 或 114
RL		正转 (反转) 方向输出	参数单元的输出生显示为正转 (FWD) 时输出 [Hi], 反转 (REV), 停止 (STOP) 时输出 [Low]	Pr. 190 ~ Pr. 196 中的任意一个设定为 16 或 116
PID		PID 控制动作中	PID 控制中置于 ON	Pr. 190 ~ Pr. 196 中的任意一个设定为 47 或 147
SLEEP		PID 输出中断中	PID 输出中断动作时置于 ON	Pr. 575 ≠ 9 999 Pr. 190 ~ Pr. 196 中的任意一个设定为 60 或 170
SE	SE	输出公共端子	端子 FUP, FDN, RL, PID, SLEEP 的公共端子	



针对本项目来说,图 3.23 所示为硬件设计原理图,它采用电位器  $R_p$  设定压力,通过热电阻温度传感器经智能仪表 XMZ601B 作为实际温度反馈。利用变频器内部的 PID 调节功能,目标信号 SV 是一个与温度的控制目标相对应的值,反馈信号 PV 是温度变送反馈回来的信号,该信号是一个反映实际压力的信号。PV 和 SV 两者是相减的,其合成信号  $(SV - PV)$  经过 PID 调节处理后得到频率给定信号 MV,决定变频器的输出频率  $f$ 。由于中央空调的风机控制分两种情况,即冬季取暖的负作用与夏季制冷的正作用,因此选用 AU 信号(X64)作为冬季与夏季的切换开关(负作用与正作用切换开关)。

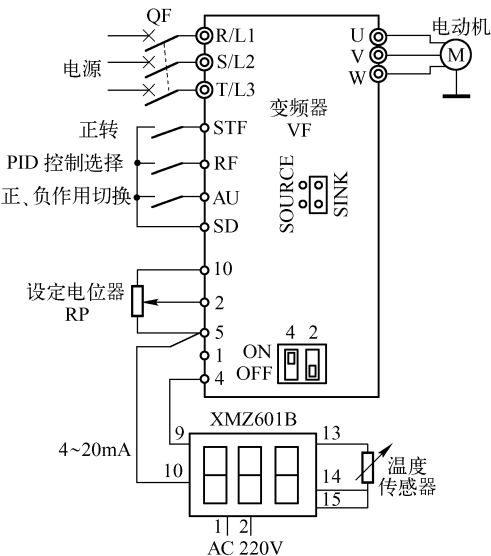


图 3.23 硬件设计原理图

### 3.5.2 中央空调风机的变频器参数设置和调试

#### 1. 变频器参数设置

如表 3.11 所示为该中央空调风机恒温控制系统的变频器参数设置,主要包括模拟量通道的设定(如给定量和实际反馈量的信号类型),PID 作用类型,使能与比例积分、微分环节的系数。

表 3.11 中央空调风机恒温控制系统变频器参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 73	模拟量的选择	1(端子 2 输入 0~5V)
Pr. 79	运行模式选择	2(外部模式固定)
Pr. 128	PID 动作选择	20(PID 负作用,冬季)
Pr. 129	PID 比例带	150%(根据实际调整)
Pr. 130	PID 积分时间	1s(根据实际调整)
Pr. 133	PID 动作目标值	9 999(端子 2 作为目标值)
Pr. 134	PID 微分时间	0.15s(根据实际调整,温度控制必须根据实际风机盘管换热情况确定)
Pr. 178	STF 功能选择	60(正转命令)
Pr. 183	RT 功能选择	14(PID 控制)
Pr. 184	AU 功能选择	64(PID 的正、负作用切换)
Pr. 267	端子 4 输入选择	0(4~20mA)

#### 2. 智能仪表参数设置

智能仪表 XMZ601B 是实现温度反馈的重要环节,必须进行参数设置,具体如下



所示。

(1) 按键定义。

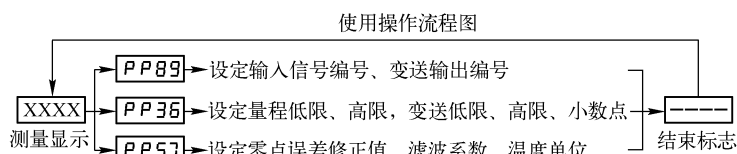
功能键 $\boxed{\text{SET}}$ :用于选择窗口页面,不同页面用 J1、J2、COM 指示灯区别。

位选键 $\boxed{\blacktriangleright}$ :循环选定页面内的数码管,选定的数码管呈闪烁状态。

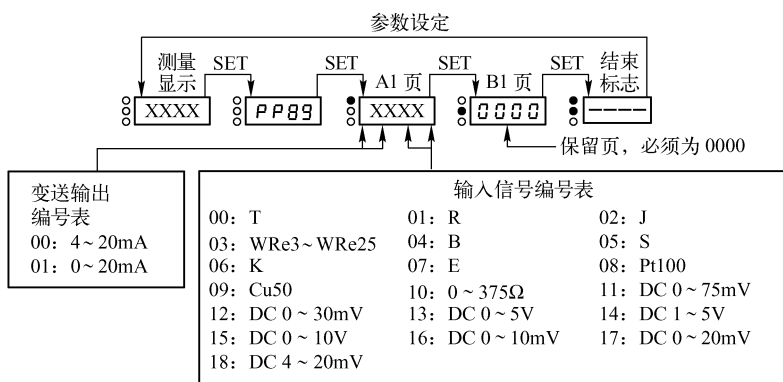
增加键 $\boxed{\blacktriangle}$ :改变闪烁位数码管的数值(第一位数码管从 0~9、“-”、-1 循环,后三位数码管数值从 0~9 循环)。

(2) 操作方法。用 $\boxed{\text{SET}}$ 键选择窗口页面,用 $\boxed{\blacktriangleright}$ 键和 $\boxed{\blacktriangle}$ 键改变页面内数码管数值。

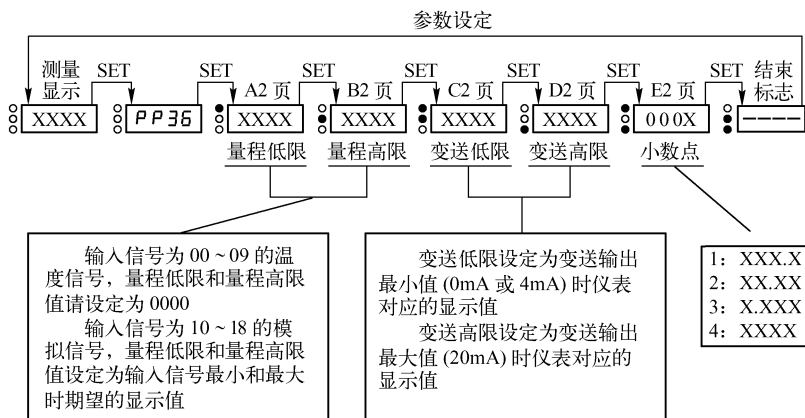
(3) 操作步骤。参照使用操作流程,分为 PP89、PP36、PP57 三项内容,分别进行操作。



① 置出 PP89 进入 A1 页,通过设定输入信号编号及变送输出编号,确定一种符合要求的输入信号和变送输出信号。

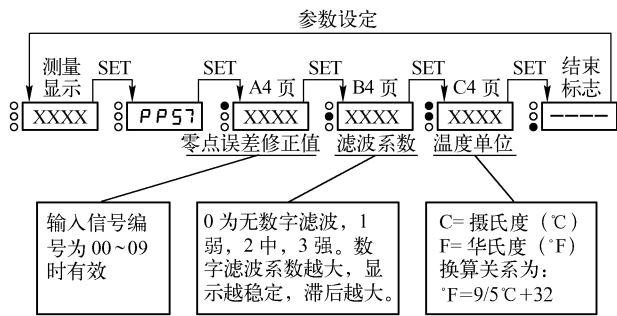


② 置出 PP36 进入 A2 页,确定输入信号对应的显示范围和变送输出范围。





③ 置出 PP57 进入 A4 页,用户可以设定零点误差修正值、温度单位、滤波系数,满足现场使用要求。



3. 温度设定电位器的选择

图 3.24 所示为电位器旋钮刻度盘,它与多圈电位器 R<sub>p</sub> 配套使用,尤其适合需要设定指示的场合。在本项目中,当温度设定为 0 ~ 40℃ 时,非常适合,只要按照刻度盘的旋转就能清楚地知道需要设定的温度值。



图 3.24 电位器旋钮刻度盘

3.6 技术答疑

【问题 1】在空调风机温度控制系统中,如何调节 P、I、D 参数一直是比较困难的事情,因为这些参数无法在产品出厂前调整好,必须到现场根据实际情况进行调整,是否有一种经验方法能快速调整这些参数?

PID 闭环的 P、I、D 三个参数调节是个难点,下面给出一个调节口诀,以方便记忆。

参数整定找最佳,从小到大顺序查;  
先是比例后积分,最后再把微分加;  
曲线振荡很频繁,比例度盘要放大;  
曲线漂浮绕大弯,比例度盘往小扳;  
曲线偏离回复慢,积分时间往下降;



曲线波动周期长,积分时间再加长;  
曲线振荡频率快,先把微分降下来;  
动差大来波动慢,微分时间应加长;  
理想曲线两个波,前高后低四比一;  
一看二调多分析,调节质量不会低。

**【问题2】**在空调风机控制系统中,经常会出现温度达到时变频器在低速运转的情况,有什么办法可以将此时的变频器停下来?

休眠功能,就是变频器在低频率运行时,如果其产生的作用对于生产过程已经没有太多作用,则可以暂时停机,一旦生产过程需要变频器运转时,变频器又能马上投入运行。这样的过程类似于“休眠”与“唤醒”,它只是在变频器无级调速的低频段设置了阈值开关,低于阈值开关值的为休眠,高于阈值开关值的为唤醒,因此它不是真正意义上的停机。因为在休眠期间,变频器的输出是关断的,所以休眠功能也能在一定程度上节约电能。

要实现休眠功能,一般通过设置阈值开关即可。为了防止系统在开关附近来回反复切换和频繁启动,阈值开关往往是有一定宽度的,包括零频运行阈值和零频回差。

这里以模拟量电流输入为例说明休眠过程的实现,见图 3.25。

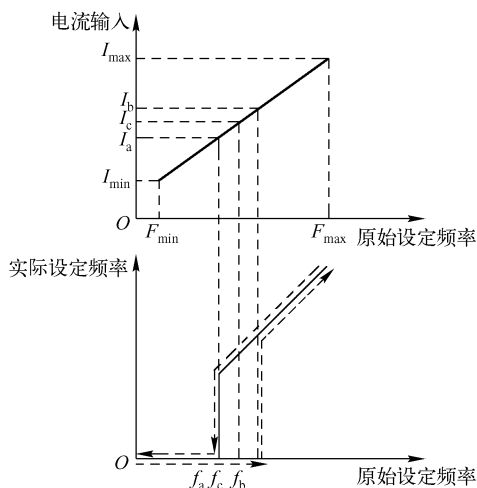


图 3.25 休眠功能示意

**启动过程:**运行命令发出后,只有当模拟量电流输入到达或超过某值  $I_b$ ,其所对应的设定频率达到  $f_b$  时,电动机才开始启动,并按加速时间加速到模拟量电流输入对应的频率。

**停机过程:**运行过程中当模拟量电流值减小到  $I_b$  时,变频器并不会立即停机,只有当  $I_b$  电流继续减小到  $I_a$ ,对应的设定频率为  $f_a$  时,变频器才停止输出(但不停机),即零频运行。

显然,这里的  $f_a$  就是零频运行阈值,  $f_b - f_a$  就是零频回差。

以上的例子是针对模拟量输入的普通运行而言的,实际上在其他运行状态如 PID 闭



环也是有效的,只要变频器的输出频率到达零频阈值开关,休眠功能就可以实现。

变频器的休眠功能经常用于水泵和风机控制中,这是因为变频器的低频段对水泵的压力和风机的风量贡献很小,假如此时生产过程需求量不高,则休眠就是顺理成章的事了。

恒压供水系统运行时经常会遇到用户用水量较小或不用水(如夜晚)的情况,为了节能,供水系统可以设置使水泵暂停工作的“休眠”功能,当变频器频率输出低于其下限时,变频器停止工作,水泵停止(处于休眠状态)。当水压下降到一定值时经变频器PID运算需要输出较高频率时,将先启动变频器运转水泵,继续原先的恒压供水程序。该系统中,需要设定两个参数值,即“休眠值”和“唤醒值”。“休眠值”即为变频器输出的下限频率设置,也就是零频运行阈值 $f_a$ ;“唤醒值”即为 $f_b$ ,就是零频回差与零频运行阈值的和。如果变频器输出的供水压力不足,当变频器经过PID计算得出的输出频率需要超过 $f_b$ 时,就唤醒变频器工作。经测试“休眠值”为18Hz,“唤醒值”为20Hz。

在PID闭环控制中,有些变频器还提供了另外一种方式的休眠功能,即休眠功能的唤醒不是通过变频器PID的计算输出频率值来确定的,而是通过PID工艺中的反馈量来决定的。在这种休眠功能中,需定义以下参数:(1)休眠频率值或速度值;(2)休眠功能启动的延时时间;(3)唤醒时的反馈量工艺数值;(4)唤醒延时时间。

图3.26所示为变频器在PID闭环运行时的休眠功能,SLEEP MODE即为休眠状态。

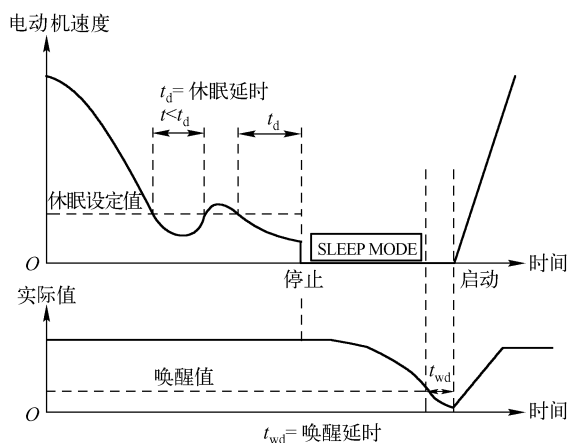


图3.26 PID闭环运行时的休眠功能示意

如果电动机速度低于休眠速度值,且时间长于休眠延时时间,则变频器切换为休眠状态,变频器停止输出;当过程实际值低于唤醒时的反馈量工艺数值,且时间长于唤醒延时时间时,则变频器马上启动进行PID闭环工作。在这里,唤醒时的反馈量工艺数值,一般以过程给定值的百分比形式表示。

同样以恒压供水为例,在夜间耗水量较低的情况下,PID过程控制就会降低电动机的转速,如果设定休眠功能有效,变频器就会进入休眠状态。为此,需设定相应的四个参数值(休眠频率值、休眠延时、唤醒压力百分比和唤醒延时)。

**【问题3】变频器在运行过程中经常发生过流是什么原因？该如何处理？**

变频器中过流保护的对象主要指带有突变性质的,电流的峰值超过了过流检测值(约额定电流的200%,不同变频器的保护值不一样),变频器则显示OC(Over Current)表示过流,由于逆变器件的过载能力较差,所以变频器的过流保护是至关重要的一环。

过流故障可分为加速、减速、恒速过流等,它可能是由变频器的加减速时间太短,负载发生突变,负荷分配不均,输出短路等原因引起的。根据变频器显示,可从以下几方面寻找原因。

(1) 工作中过流,即电动机拖动系统在工作过程中出现过流。

其原因大致有以下几方面。

① 一是电动机遇到冲击负载或传动机构出现“卡住”现象,引起电动机电流的突然增加。

② 二是变频器输出侧发生短路(如图3.27所示),如输出端到电动机之间的连接线发生相互短路,或电动机内部发生短路、接地(电动机烧毁、绝缘劣化、电缆破损而引起的接触、接地等)。

③ 三是变频器自身工作不正常,如逆变桥中同一桥臂的两个逆变器件在不断交替的工作过程中出现异常。如环境温度过高,或逆变器元器件本身老化等原因,使逆变器的参数发生变化,导致在交替过程中,一个器件已经导通,而另一个器件却还未来得及关断,引起同一个桥臂的上、下两个器件的“直通”(如图3.28所示),使直流电压的正、负极间处于短路状态。

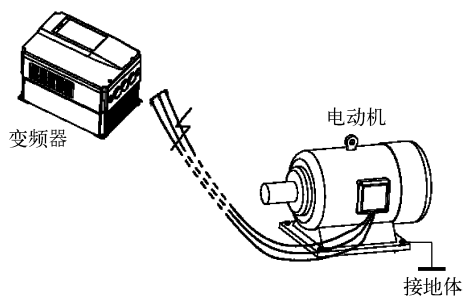


图 3.27 变频器输出侧短路

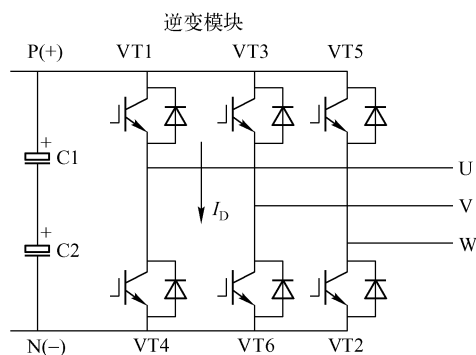


图 3.28 桥臂直通故障

(2) 升速、降速时过流。当负载的惯性较大,而升速时间或降速时间又设定得太短时,也会引起过流。在升速过程中,变频器工作频率上升太快,电动机的同步转速迅速上升,而电动机转子的转速因负载惯性较大而跟不上去,结果是升速电流太大;在降速过程中,降速时间太短,同步转速迅速下降,而电动机转子因负载的惯性大,仍维持较高的转速,这时同样可以使转子绕组切割磁力线的速度太大而产生过流。

(3) 变频器上电或一运行就过流。这种保护大部分是因变频器内部故障引起的,若负载正常,变频器仍出现过流保护,一般是检测电路所引起的,类似于短路故障的排除,如电流传感器、取样电阻或检测电路等。该处传感器波形如图3.29所示,其包络类似于正



弦波,若波形不对或无波形,即为传感器损坏,应更换。

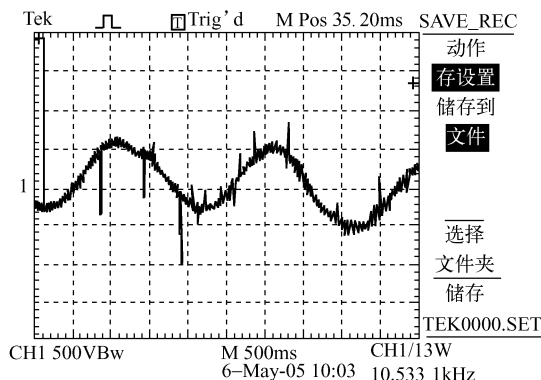


图 3.29 传感器的波形图

过流保护用的检测电路一般是模拟运放电路,如图 3.30 所示。在静态下,测 A 点的工作电压应为 2.4V,若电压不对即为该电路有问题,应查找原因并予以排除。R4 为取样电阻,若有问题也应更换。

对于过流故障的处理,关键一是要确定负载本身是否符合正常运行条件;二是确定变频器本身是否正常;三是要确定变频器的参数能否与负载运行的

工艺条件或加减速过程匹配;四是检查变频器输入、输出接线是否正常。

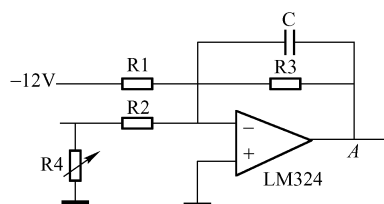


图 3.30 过流检测电路

### 1. 负载侧检查

负载侧的原因是引起变频器过流的最主要因素,因此一旦发生过流故障,首先要检查:

- (1) 工作机械有没有卡住,以避免电动机负载突变,引起的冲击过大造成过流;
- (2) 负载侧有没有短路,以避免电动机和电动机电缆相间或每相对地的绝缘破坏,造成匝间或相间对地短路,此项内容可以用兆欧表检查对地或相间有没有短路;
- (3) 电动机的启动转矩过小,拖动系统转不起来;
- (4) 过流故障还与电动机的漏抗、电动机电缆的耦合电抗有关,所以选择电动机电缆一定要按照要求去选;
- (5) 在变频器输出侧有无功率因数矫正电容或浪涌吸收装置,如果有,就必须撤除;
- (6) 当负载电动机装有测速编码器时,速度反馈信号丢失或非正常时,也会引起过流,因此也必须正确检查编码器及其电缆。

### 2. 变频器检查

变频器硬件问题主要包括模块坏,驱动电路坏,电流检测电路坏等。具体检查内容如下。





(1) 电流互感器损坏,其现象表现为,变频器主回路送电,当变频器未启动时,有电流显示且电流在变化,这样可判断互感器已损坏。

(2) 主电路接口板电流、电压检测通道被损坏,也会出现过流。

(3) 由于连接插件不紧、不牢。例如电流或电压反馈信号线接触不良,会出现过流故障时有时无的现象。

(4) 电路板损坏,其原因可能是:

① 由于环境太差,导电性固体颗粒附着在电路板上,造成静电损坏。或者有腐蚀性气体,使电路被腐蚀。

② 电路板的零电位与机壳连在一起,当柜体与地角焊接时,强大的电弧会影响电路板的性能。

③ 由于接地不良,电路板的零伏受干扰,也会造成电路板损坏。

当检查以上 4 项有问题时,必须更换同型号配件或修复该配件。

### 3. 变频器参数检查

变频器参数设定问题是在负载、变频器确认都正常的情况下必须怀疑的因素,这里包括加速时间太短,PID 调节器的比例 P 和积分时间 I 参数不合理,超调过大等,所有这些参数的不合理设置都将造成变频器输出电流振荡或直接过流。

针对变频器问题,主要检查:

(1) 升速时间设定太短,加长加速时间;

(2) 减速时间设定太短,加长减速时间;

(3) 转矩补偿(V/f 比)设定太大,引起低频时空载电流过大;

(4) 电子热继电器整定不当,动作电流设定得太小,引起变频器误动作。

另外,当负载不稳定时,建议使用矢量控制模式或 DTC 模式,因为此两种模式控制速度非常快,每隔  $25\mu\text{s}$  产生一组精确的转矩和磁通的实际值,再经过电动机转矩比较器和磁通比较器的输出,优化脉冲选择器决定逆变器的最佳开关位置,这样有利于抑制过流。同时使用速度环的自适应(AUTOTUNE)功能来自动调整 PID 参数,从而使变频器输出电动机电流平稳。

### 4. 输入、输出线路检查

很多现象表明,过流保护的其中一个原因就是缺相。当变频器输入缺相时,势必引起母线电压降低,负载电流加大,引起保护。而当变频器输出端缺相时,势必使电动机的另外两相电流加大而引起过流保护。所以对输入及输出都应进行检查,排除故障。

针对变频器容易过流的现象,很多变频器都推出了自动限流功能,即通过对负载电流的实时控制,自动限定其不超过设定的自动限流水平值(通常以额定电流的百分比来表示),以防止电流过冲而引起的故障跳闸。这对于一些惯量较大或变化剧烈的负载场合,尤其适用。图 3.31 所示为某水泥窑罗茨风机的自动限流工作波形图。

当然,自动限流功能动作时,变频器输出频率可能会有所变化,所以对要求恒速运行时输出频率较稳定的场合,不宜一直使用该功能,仅仅在启动或停机时才用到。

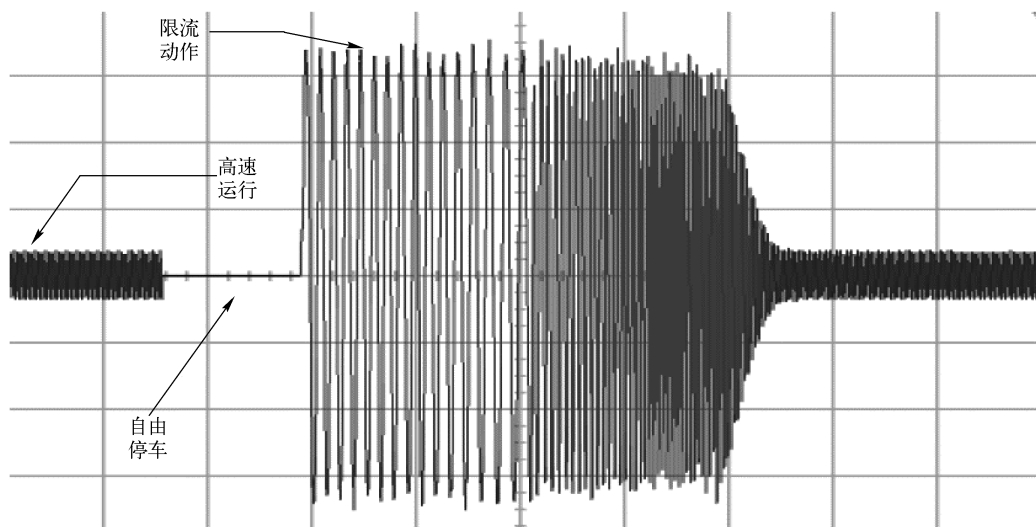


图 3.31 自动限流工作波形图

【问题4】变频器在运行过程中经常发生过载是什么原因？该如何处理？

### 1. 过载的主要原因

电动机能够旋转,但运行电流超过了额定值,称为过载(如图 3.32 所示)。过载的基本特征是:电流虽然超过了额定值,但超过的幅度不大,一般也不形成较大的冲击电流(否则就变成过流故障),而且过载是有一个时间的积累,当积累值达到时才报过载故障。

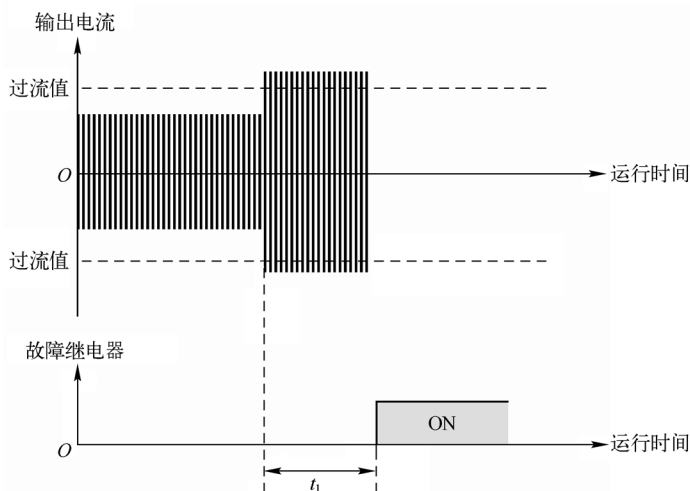


图 3.32 过载示意

过载发生的主要原因有以下几点。

(1) 机械负荷过重。其主要特征是电动机发热,可从变频器显示屏上读取运行电流



来发现。

(2) 三相电压不平衡,引起某相的运行电流过大,导致过载跳闸。其特点是电动机发热不均衡,从显示屏上读取运行电流时不一定能发现(因很多变频器显示屏只显示一相电流)。

(3) 误动作,变频器内部的电流检测部分发生故障,检测出的电流信号偏大,导致过载跳闸。

## 2. 过载故障的解决对策

过载故障的检查方法和解决对策包括:

(1) 检查电动机是否发热,如果电动机的温升不高,则首先应检查变频器的电子热保护功能预置得是否合理,如变频器尚有余量,则应放宽电子热保护功能的预置值。

如果电动机的温升过高,而所出现的过载又属于正常过载,则说明电动机的负荷过重。这时,应考虑能否适当加大传动比,以减轻电动机轴上的负荷。如能够加大,则加大传动比。如果传动比无法加大,则应加大电动机的容量。

(2) 检查电动机侧三相电压是否平衡,如果电动机侧的三相电压不平衡,则应再检查变频器输出端的三相电压是否平衡,如果也不平衡,则问题在变频器内部。如果变频器输出端的电压平衡,则问题在从变频器到电动机之间的线路上,应检查所有接线端的螺钉是否都已拧紧,如果在变频器和电动机之间有接触器或其他电器,则还应检查有关电器的接线端是否都已拧紧,以及触点的接触状况是否良好等。

如果电动机侧三相电压平衡,则应了解跳闸时的工作频率:如工作频率较低,又未用矢量控制(或无矢量控制),则首先降低  $V/f$  比,如果降低后仍能带动负载,则说明原来预置的  $V/f$  比过高,励磁电流的峰值偏大,可通过降低  $V/f$  比来减小电流;如果降低后带不动负载了,则应考虑加大变频器的容量;如果变频器具有矢量控制功能,则应采用矢量控制方式。

## 思考与练习

习题 3.1 根据本项目的知识讲座和技能训练,并结合网络搜索来回答以下问题。

- (1) 简述 PID 的定义。
- (2) A700 变频器使用 PID 控制需要接哪些线? 设定哪些参数?
- (3) 正、负作用对于控制效果来说有何区别?
- (4) 温度传感器的选型对于温度变频控制来说有什么要求?
- (5) 风机节能的原理是什么?

习题 3.2 试列举几种常见的离心泵,并阐述变频器在离心泵上的节能原理(如图 3.33 所示)。

习题 3.3 在锅炉设备中,给水泵系统通过向锅炉不间断供水,以保证锅炉的正常运行。图 3.34 所示为锅炉给水示意图,试用恒压控制来实现变频节能,该如何设计?

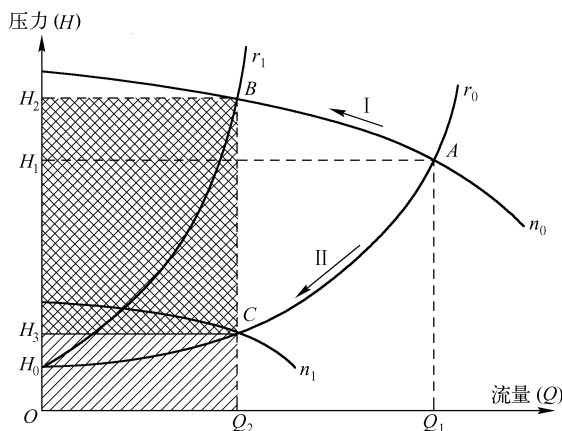


图 3.33 泵的流量-转速-压力关系曲线

习题 3.4 在硫酸生产过程中,需要对水冷极板进行冷却,冷却水循环泵是硫酸生产工艺中的重要设备,过去冷却水循环泵均不调速,利用出口阀门来控制水流量和管网压力,现采用变频器进行节能改造(见图 3.35)。已知 3 台循环泵的功率皆为 90kW,请选择合适的控制方式和变频器。

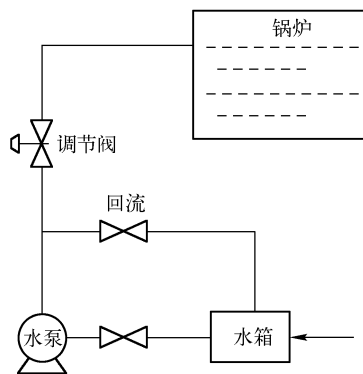


图 3.34 锅炉给水泵给水示意

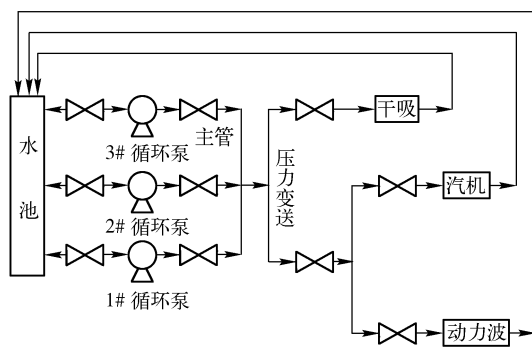


图 3.35 硫酸厂冷却水循环泵工作原理图

习题 3.5 根据变频风机的控制方式,分别设计三种设计线路图,变频器型号可以自由选择。

习题 3.6 图 3.36 所示为中央空调水循环控制原理,主要分为冷冻主机、冷冻水(热水)循环系统、冷却水循环系统,现需要设计一个智能变频柜,用以控制冷冻水(热水)回路的压力和冷却水回路的温差。请尝试使用变频器来设计该中央节能系统。

习题 3.7 通过了解注塑机的工作原理,设计注塑变频节能的控制方式(如图 3.37 所示)。

习题 3.8 某停车库采用 1 台 11kW 风机进行通风,以保证库内  $\text{CO}_2$  含量保持在一定值以下,请选择合适的  $\text{CO}_2$  传感器,设计线路图并设置参数。

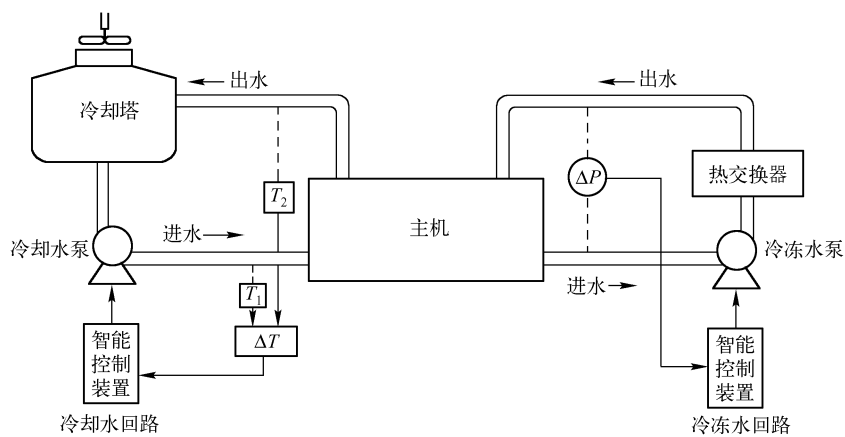


图 3.36 中央空调水循环控制原理

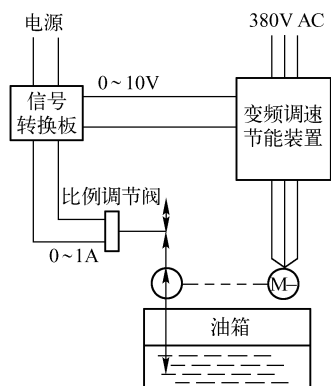


图 3.37 注塑机变频节能改造示意图

# 数控车床主轴的开环矢量控制

当前机械制造业发展的一个明显动向是:越来越广泛地应用数控技术,普通机械逐渐被高效率、高精度的数控机械所代替。数控车床的一个重要核心就是主轴变频控制,并要求调速范围要宽,低速时大转矩输出,这只有矢量控制才能符合要求。开环矢量变频调速控制系统就是取消了变频调速系统的速度检测装置,通过建立一个感应电动机的精确模型,间接计算求出传动运行中电动机的实际转速值作为转速的反馈信号。本项目将着重介绍电动机参数的辨识及其在数控车床主轴传动控制中的应用。

本项目的学习目标如下。



### 知识目标

熟悉开环矢量控制下的感应电动机、变频器、控制系统的接线方法;了解变频器开环矢量控制的参数设置;掌握感应电动机在变频矢量控制下的输出特性。



### 技能目标

能根据电气原理图连接数控装置与变频器;能进行变频器投入运转的参数设置,能对感应电动机进行参数辨识。



### 职业素养目标

树立系统与部件的概念,掌握在制造业成为工业化象征的背景下变频器应该进一步适应数控技术才是工程应用方向的理念。



## 4.1 项目背景及要求

### 4.1.1 项目背景

在机械制造业中,用普通机床加工复杂的零部件或具有较高精确度的批量产品,如车削内外圆柱面、圆锥面、环槽及成形回转表面,以及车削端面及各种常用的螺纹时,常常需要熟练的技术工人手工操作来完成,这种效率低下的传统加工方式已无法满足现代制造业的需求。随着计算机技术的飞速发展,先进的数控车床应运而生,并逐渐成为主流的工具机床。

数控车床是机电一体化的典型产品,是集机床、计算机、电动机及其拖动、自动控制、检测等技术于一身的自动化设备。其中主轴运动是数控车床的一个重要内容,以完成切削任务,其动力占整台车床动力的 70% ~ 80%。

图 4.1 所示为数控车床和主轴电动机控制示意图。

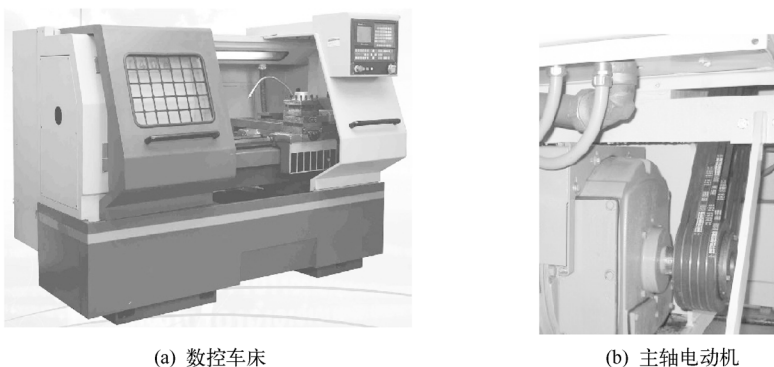


图 4.1 数控车床和主轴电动机控制示意图

### 4.1.2 控制要求

在目前数控车床中,主轴控制装置通常采用交流变频器来控制交流主轴电动机。为满足数控车床对主轴驱动的要求,必须有以下性能:①宽调速范围,且速度稳定性要高;②在断续负载下,电动机的转速波动要小;③加减速时间短;④过载能力强;⑤噪声低,振动小,寿命长。

已知某系列数控车床主轴电动机功率为 2.2kW,其数控系统采用 HNC-21 系列控制器,请选择合适的变频器,并进行接线与调试。



## 4.2 知识讲座：开环矢量控制与变频制动

### 4.2.1 变频器矢量控制原理

变频器的矢量控制是 20 世纪 70 年代开始迅速发展起来的一种新型控制思想,它以电动机控制参数的实时解耦,来实现电动机的转矩与磁通控制,以达到与直流电动机一样的调速性能。异步电动机矢量控制调速系统经过近几十年的发展,其控制方法已趋于成熟。

#### 1. 基本原理

异步电动机的矢量控制仿照直流电动机的控制方式,把定子电流的磁场分量和转矩分量解耦开来,分别加以控制,即将异步电动机的物理模型等效地变成类似于直流电动机的模式。

众所周知,交流电动机三相对称的静止绕组 A、B、C,通以三相平衡的正弦电流时,所产生的合成磁动势是旋转磁动势  $F$ ,它在空间呈正弦分布,以同步转速  $\omega$  (电流的角频率)顺着 A-B-C 的相序旋转。这样的物理模型如图 4.2(a) 所示。

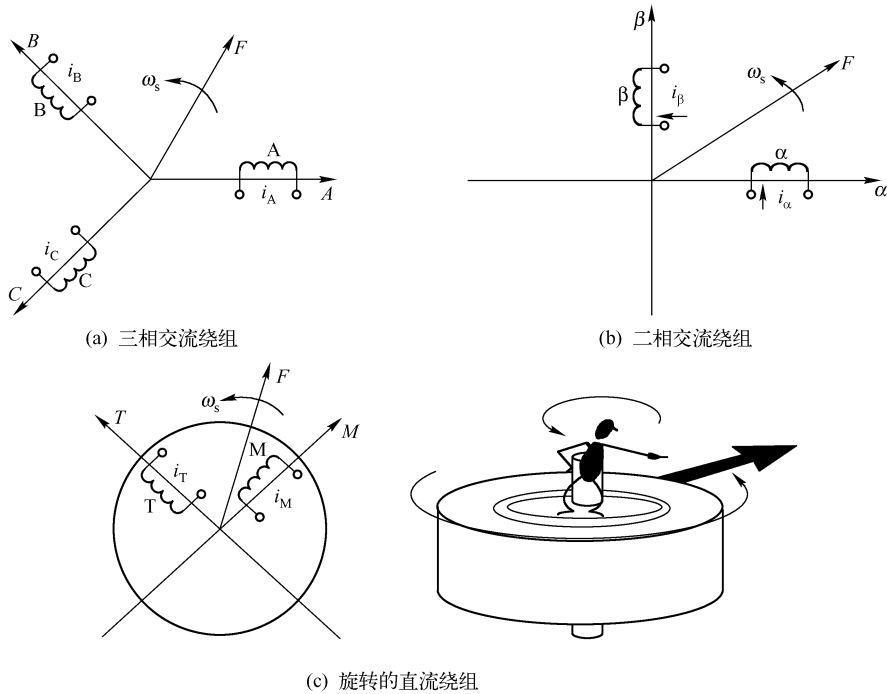


图 4.2 交流电动机绕组等效

然而,旋转磁动势并不一定非要三相不可,除单相以外,二相、三相、四相等任意对称的多相绕组,通以平衡的多相电流,都能产生旋转磁动势,当然以两相最为简单。如





图 4.2(b)中绘出了两相静止绕组  $\alpha$  和  $\beta$ ,它们在空间上互差  $90^\circ$ ,通以时间上互差  $90^\circ$  的两相平衡交流电流,也产生旋转磁动势  $F$ 。当图 4.2(a),(b)中的两个旋转磁动势大小和转速都相等时,即认为图 4.2(b)中的两相绕组与图 4.2(a)中的三相绕组等效。再看图 4.2(c)中的两个匝数相等且互相垂直的绕组  $M$  和  $T$ ,其中分别通以直流电流  $i_M$  和  $i_T$ ,产生合成磁动势  $F$ ,其位置相对于绕组来说是固定的。

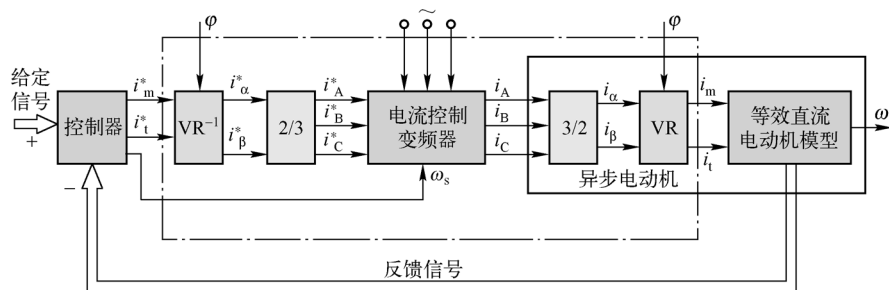
如果让包含两个绕组在内的整个铁芯以同步转速旋转,则磁动势  $F$  自然也随之旋转起来,成为旋转磁动势。把这个旋转磁动势的大小和转速也控制成与图 4.2(a),(b)中的磁动势一样,那么这套旋转的直流绕组也就和前面两套固定的交流绕组都等效了。当观察者也站到铁芯上和绕组一起旋转时,在他看来, $M$  和  $T$  是两个通以直流而相互垂直的静止绕组。如果控制磁通的位置在  $M$  轴上,就和直流电动机物理模型没有本质上的区别了。这时,绕组  $M$  相当于励磁绕组, $T$  相当于伪静止的电枢绕组。

由此可见,以产生同样的旋转磁动势为准则,图 4.2(a)中的三相交流绕组,图 4.2(b)中的两相交流绕组和图 4.2(c)中整体旋转的直流绕组彼此等效。或者说,在三相坐标系下的  $i_A, i_B, i_C$ ,在两相坐标系下的  $i_\alpha, i_\beta$  和在旋转两相坐标系下的直流  $i_M, i_T$  是等效的,它们能产生相同的旋转磁动势。

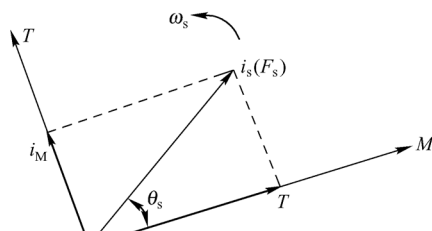
有意思的是:就图 4.2(c)中的  $M, T$  两个绕组而言,当观察者站在地面看上去,它们是与三相交流绕组等效的旋转直流绕组;如果跳到旋转着的铁芯上看,它们就的确是一个直流电动机模型了。这样,通过坐标系的变换,可以找到与交流三相绕组等效的直流电动机模型。

## 2. 矢量控制框架与坐标变换

图 4.3(a)所示为矢量控制的基本框架,即将异步电动机按照等效直流电动机模型进行控制。



(a) 矢量控制基本框架



(b) K/P 变换

图 4.3 矢量控制基本框架和坐标变换



图 4.3(a) 中涉及多个坐标变化,包括 2/3 相变换、2s/2r 变换、K/P 变换等。

(1) 3/2 相变换和 2/3 相变换。在三相静止绕组 A、B、C 和两相静止绕组  $\alpha$ 、 $\beta$  之间的变换,称为三相静止坐标系和两相静止坐标系间的变换,简称 3/2 相变换。反之,则称为 2/3 相变换。

(2) 2s/2r 变换和 2r/2s 变换。从两相静止坐标系  $\alpha$ 、 $\beta$  到两相旋转坐标系  $M$ 、 $T$  的变换称为两相-两相旋转变换,简称 2s/2r 变换,其中 s 表示静止, r 表示旋转。反之,则称为 2r/2s 变换。

(3) K/P 变换。令矢量  $i_s$  和  $M$  轴的夹角为  $\theta_s$ , 已知  $i_M$  和  $i_T$ , 求  $i_s$  和  $\theta_s$ , 就是直角坐标/极坐标变换,简称 K/P 变换(见图 4.3(b))。

了解了坐标变换后,就可以理解矢量控制的主要步骤:要把三相静止坐标系上的电压方程、磁链方程和转矩方程都变换到两相旋转坐标系上来,可以先利用 3/2 相变换将方程式中定子和转子的电压、电流、磁链和转矩都变换到两相静止坐标系  $\alpha$ 、 $\beta$  上,然后再用旋转变换阵  $C_{2s/2r}$  (图 4.3(a) 中的 VR), 将这些变量变换到两相旋转坐标系  $M$  和  $T$  上。

因此,从图 4.3 中可以这样认为,在控制器后面引入的反旋转变换器  $VR^{-1}$  与电动机内部的旋转变换环节 VR 抵消, 2/3 变换器与电动机内部的 3/2 变换环节抵消,如果再忽略变频器中可能产生的滞后,则图 4.3 中虚线框内的部分可以完全删去,剩下的就是直流调速系统了。

### 3. 转子磁场定向下的异步电动机数学模型

矢量控制就是通过坐标变换,实现定子侧控制量的解耦。该方法是分析异步电动机数学模型,简化电磁关系,实现控制系统设计的有效手段。由于转子磁场定向旋转坐标系下异步电动机数学模型意义明确、简化实用,常用于设计调速控制系统。

在转子磁场定向矢量控制下,其电压矢量与电流矢量之间的方程矩阵形式如下。

$$\begin{bmatrix} u_{sm} \\ u_{sl} \\ u_{rm} \\ u_{rl} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s p & -\omega_s L_s & L_m p & -\omega_s L_m \\ \omega_s L_s & R_s + L_s p & \omega_s L_m & L_m p \\ L_m p & -\omega_s L_m & R_r + L_r p & -\omega_{sl} L_r \\ \omega_{sl} L_m & L_m p & \omega_{sl} L_r & R_r + L_r p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sm} \\ i_{sl} \\ i_{rm} \\ i_{rl} \end{bmatrix}$$

式中,  $R_s/R_r$  为定子/转子电阻;  $L_s/L_r$  为定子/转子电感;  $L_m$  为互感;  $\omega_{sl}$  为角速度;  $p$  为微分因子。

显然,可以想象得出异步电动机参数对于矢量控制的重要性,因此在很多矢量控制变频器中都含有自动检测电动机参数的程序,以防止因用户输入电动机参数不准确所带来的控制精度误差。

## 4.2.2 开环矢量控制方式

### 1. 基本概念

在高性能的异步电动机矢量控制系统中,转速的闭环控制环节一般是必不可少的。



通常,采用旋转编码器等速度传感器来进行转速检测,并反馈转速信号。但是速度传感器的安装给系统带来一些缺陷:系统的成本大大增加;精度越高的编码器价格也越贵;编码器在电动机轴上的安装存在同心度的问题,安装不当将影响测速的精度;电动机轴上的体积增大,而且给电动机的维护带来一定困难,同时破坏了异步电动机的简单坚固的特点;在恶劣的环境下,编码器工作的精度易受环境的影响。而无速度传感器的控制系统无须检测硬件,免去了速度传感器带来的种种麻烦,提高了系统的可靠性,降低了系统的成本;另外,使得系统的体积小,重量轻,而且减少了电动机与控制器的连线。因此,无速度传感器的矢量控制方式(又称开环矢量控制)在工程应用中变得非常必要。

开环矢量控制方式是基于磁场定向控制理论发展而来的。实现精确的磁场定向矢量控制需要在异步电动机内安装磁通检测装置。要在异步电动机内安装磁通检测装置是很困难的,但人们发现,即使不在异步电动机中直接安装磁通检测装置,也可以在通用变频器内部得到与磁通相应的量,并由此得到了无速度传感器的矢量控制方式。它的基本控制思想是根据输入的电动机的铭牌参数,按照一定的关系式分别对作为基本控制量的励磁电流(或者磁通)和转矩电流进行检测,并通过控制电动机定子绕组上的电压的频率使励磁电流(或者磁通)和转矩电流的指令值和检测值达到一致,并输出转矩,从而实现矢量控制。采用矢量控制方式的通用变频器不仅可在调速范围上与直流电动机相匹配,而且可以控制异步电动机产生的转矩。由于矢量控制方式所依据的是准确的被控异步电动机的参数,因此需要在使用时准确地输入异步电动机的参数,并对拖动的电动机进行调谐整定,否则难以达到理想的控制效果。

无速度传感器矢量控制方式的基本技术指标定义如下:速度控制精度  $\pm 0.5\%$ ,速度控制范围 1: 100,转矩控制响应  $< 200\text{ms}$ ,启动转矩  $> 150\% / 0.5\text{Hz}$ 。其中启动转矩指标根据不同品牌的变频器其性能有所不同,在  $150\% \sim 250\%$  之间。如图 4.4 所示为安川 G7 的无速度传感器矢量控制方式下的启动转矩特性,在  $0.3\text{Hz}$  极低速下能达到  $150\%$  以上的转矩。

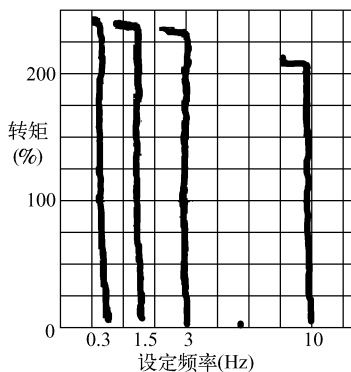


图 4.4 无速度传感器矢量控制方式启动转矩特性

有时为了描述上的方便,也把无速度传感器的矢量控制方式称为开环矢量控制或无 PG 反馈矢量控制。



## 2. 电动机参数的调谐整定

由于电动机磁通模型的建立必须依赖于电动机参数,因此选择无速度传感器矢量控制时,第一次运行前必须首先对电动机进行参数的调谐整定。目前新型矢量控制通用变频器中已经具备异步电动机参数自动调谐、自适应功能,带有这种功能的通用变频器在驱动异步电动机进行正常运转之前可以自动地对异步电动机的参数进行调谐后存储在相应的参数组中,并根据调谐结果调整控制算法中的有关数值。

自动调谐(因在电动机旋转情况下进行,又称旋转式调谐)的步骤一般是这样的:首先在变频器参数中输入需要调谐的电动机的基本参数,包括电动机的类型(异步电动机或同步电动机)、电动机的额定功率(单位 kW)、电动机的额定电流(单位 A)、电动机的额定频率(单位 Hz)、电动机的额定转速(单位 r/min);然后将电动机与机械设备分开,电动机作为单体;接着用变频器的操作面板指令操作,变频器的控制程序就会一边根据内部预先设定的运行程序自动运转,一边测定一次电压和一次电流,然后计算出电动机的各项参数。但在电动机与机械设备难以分开的场合却很不方便,此时可采用静止式调谐整定的方法,即将固定在任一相位,仅改变振幅而不产生旋转的三相交流电压施加于电动机上,电动机不旋转,由此时的电压、电流波形按电动机等值回路对各项参数进行运算,便能高精度测定控制上必需的电动机参数。在静止式调谐中,用原来方法无法测定的漏电流也能测定,控制性能进一步提高。利用静止式调谐技术,可对于机械设备组合在一起的电动机自动调谐,自动测定控制上所需的各项常数,因而显著提高了通用变频器使用的方便性。

从图 4.5 所示的异步电动机稳态等效电路中可以看出,电动机除了常规的参数如电动机极数、额定功率、额定电流外,还有  $R_1$  (定子电阻)、 $X_{11}$  (定子漏感抗)、 $R_2$  (转子电阻)、 $X_{21}$  (转子漏感抗)、 $X_m$  (互感抗)和  $I_0$  (空载电流)。

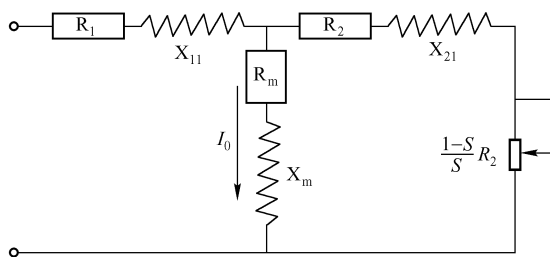


图 4.5 异步电动机稳态等效电路

从上面已经知道,参数辨识分电动机静止辨识和旋转辨识两种,其中在静止辨识中,变频器能自动测量并计算定子和转子电阻,以及相对于基本频率的漏感抗,并同时测量的参数写入;在旋转辨识中,变频器自动测量电动机的互感抗和空载电流。

在调谐整定过程中,必须注意以下几点。

(1) 调谐过程如果出现过流或过压故障,可适当调整加减速时间和转矩补偿数值,并取消故障自动复位功能。



(2) 在启动调谐前应确保电动机处于停止状态,否则调谐不能正常进行。

(3) 调谐前必须确保输入电动机的铭牌参数准确无误,否则调谐后的电动机参数不准确。

(4) 不同品牌、不同型号的变频器旋转调谐时从零速加速运行到的频率有些差异,有些是基本运行频率,有些则只有基本运行频率的 50% 或 80%,具体可依据变频器的用户手册。

(5) 如果现场情况无法对电动机进行调谐,可以参考同类电动机的已知参数手工输入,或者按照以下方式进行:先选择静止调谐,可依次计算出定子电阻、转子电阻和漏感抗 3 个参数,不测量电动机的互感抗和空载电流,用户可以根据电动机铭牌自行计算这两个参数,计算中用到的电动机铭牌参数有额定电压  $U$ 、额定电流  $I$ 、额定频率  $f$  和功率因数  $\eta$ ,其中:

$$\text{空载电流 } I_0 = I \times \sqrt{1 - \eta^2}$$

$$\text{互感抗 } X_m = \frac{U}{2\sqrt{3}\pi f \times I_0} - X_\sigma$$

( $X_\sigma$  代表漏感抗,是定子漏感抗  $X_{1l}$  和转子漏感抗  $X_{2l}$  之和)

(6) 为了保证控制性能,必须按变频器标准适配电动机进行电动机配置,若电动机功率与标准适配电动机的功率差距过大(功率差别一般在 1~2 级之间),变频器的控制将明显下降,或者配用高转差电动机等特殊电动机也将大大影响使用效果。

(7) 如果在变频器与电动机之间接有电抗器或滤波器等配件,将影响到自动调谐的准确度,应该在自动调谐前暂时拆除这些配件。

### 3. 速度调节器 ASR

速度调节器 ASR 的结构如图 4.6 所示,图中  $K_p$  为比例增益, $K_i$  为积分时间。积分时间设为 0 时,则无积分作用,速度环为单纯的比例调节器。由于是无速度传感器矢量控制方式,速度环的实际速度来源于变频器内部的实际计算值。

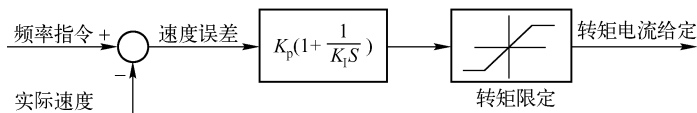


图 4.6 速度调节器简化框图

速度调节器 ASR 的整定参数包括比例增益  $P$  和积分时间  $I$ ,其数值大小将直接影响矢量控制的效果,其目标就是要取得动态性能良好的阶跃响应(见图 4.7(a))。具体调节的影响情况如下。

(1) 增大比例增益  $P$ ,可加快系统的动态响应,但  $P$  值过大,系统容易振荡。

(2) 减小积分时间  $I$  值,可加快系统的动态响应,但  $I$  值过小,系统超调就会增大,且容易产生振荡。

(3) 通常先调整比例增益  $P$  值,在保证系统不振荡的前提下尽量增大  $P$  值,然后调



节积分时间  $I$  值使系统既有快速的响应特性又超调不大。

图 4.7(b) 所示是比例增益  $P$  值与速度调节器 ASR 的阶跃响应关系, 图 4.7(c) 所示是积分时间  $I$  值与速度调节器 ASR 的阶跃响应关系。

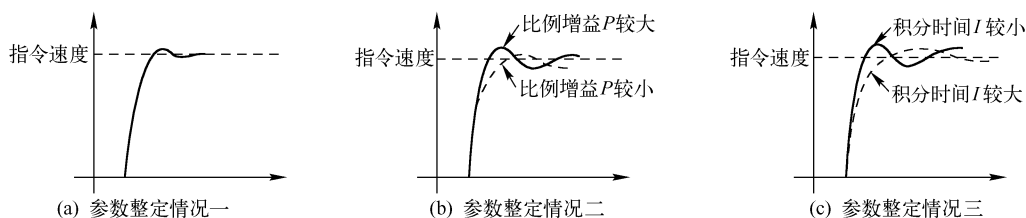


图 4.7 速度调节器 ASR 的阶跃响应与 PI 参数的关系

一般的矢量变频器为了适应电动机低速和高速带载运行都有快速响应的情况, 都设有两套 PI 参数值(低速 PI 值和高速 PI 值), 同时设有切换频率。为了保证两套 PI 值的正常过渡, 一些变频器还另外设置了两个切换频率, 即切换频率 1 和切换频率 2, 如图 4.8 所示。其控制原理是: 低于切换频率 1 的频率动态响应 PI 值取 A 点的数值, 高于切换频率 2 的频率动态响应 PI 值取 B 点的数值, 位于切换频率 1 和切换频率 2 之间的频率动态响应 PI 值取两套 PI 参数的加权平均值。

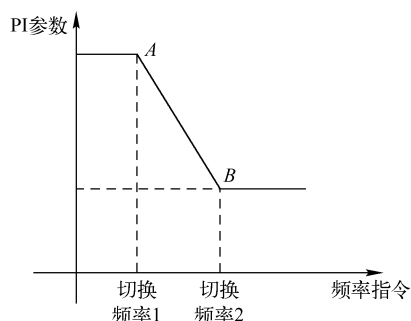


图 4.8 PI 参数与频率切换的关系

如果 PI 参数设置不当, 系统在快速启动到高速后, 可能产生减速过电压故障(如果没有外接制动电阻或制动单元), 这是由于在速度超调后的下降过程中系统再生制动状态能量回馈所致, 因此合适的 PI 值对于系统的稳定性至关重要。

#### 4. 转差补偿增益和静差率

静差就是从一个稳定的转速过渡到另一个稳定的转速之间的差值, 静差率是指电动机空载与满载的速度差, 这两个参数对于电动机的控制特性都是要求比较高的。

由于无速度传感器的矢量控制方式对于转速的测量是间接的, 一般都是通过容易测量的定子电压和电流信号间接求得转速。目前常用的方法有:

- (1) 利用电动机模型推导出转速方程式, 从而计算转速。
- (2) 利用电动机模型计算转差频率, 进行补偿。
- (3) 根据模型参考自适应控制理论, 选择合适的参考模型和可调整模型, 同时辨识转速和转子磁链。
- (4) 利用其他辨识或估计方法求得转速。
- (5) 利用电动机的齿谐波电势计算转速等。

但是, 无论哪一种方法, 对于电动机实际运行的速度计算或辨识精度都非常有限, 为了精确调整静差, 确保电动机的静差率低于 0.01%, 就需要对转差补偿增益进



行设置。

所谓转差补偿增益,就是用于计算转差频率,设定值 100% 表示额定的转矩电流对应额定的转差频率,因此设置合理的转差补偿增益系统可以精确调整速度控制的静差。其参数的设置原则是:当电动机重载时速度偏低,就应该加大该参数,反之就减小该参数。

### 4.2.3 变频器容量选择的依据

变频器的容量直接关系到变频调速系统的运行可靠性,因此,合理的容量将保证最优的投资。变频器的容量选择在实际操作中存在很多误区,这里给出了三种基本的容量选择方法,它们之间互为补充。

#### 1. 从电流的角度

大多数变频器容量可从三个角度表述:额定电流、可用电动机功率和额定容量。其中后两项,变频器生产厂家由本国或本公司生产的标准电动机给出,或随变频器输出电压而降低,都很难确切表达变频器的能力。

选择变频器时,只有变频器的额定电流是一个反映半导体变频装置负载能力的关键量。负载电流不超过变频器额定电流是选择变频器容量的基本原则。需要着重指出的是,确定变频器容量前应仔细了解设备的工艺情况及电动机参数,例如潜水电泵、绕线转子电动机的额定电流要大于普通笼形异步电动机额定电流,冶金工业常用的辊道用电动机不仅额定电流大很多,同时它允许短时处于堵转工作状态,且辊道传动大多是多电动机传动。应保证在无故障状态下负载总电流均不允许超过变频器的额定电流。

#### 2. 从效率的角度

系统效率等于变频器效率与电动机效率的乘积,只有两者都处在较高的效率下工作时,系统效率才较高。从效率角度出发,在选用变频器功率时,要注意以下几点。

(1) 变频器功率值与电动机功率值相当时最合适,以利变频器在高的效率值下运转。

(2) 在变频器的功率分级与电动机功率分级不相同时,则变频器的功率要尽可能接近电动机的功率,但应略大于电动机的功率。

(3) 当电动机需频繁启动、制动或处于重载启动且较频繁工作时,可选取大一级的变频器,以利于变频器长期、安全地运行。

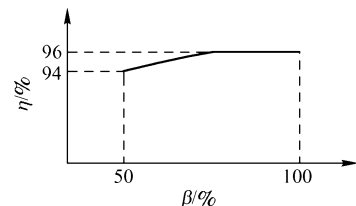


图 4.9 负载率与效率的关系曲线

(4) 经测试,电动机实际功率确实有富余,可以考虑选用功率小于电动机功率的变频器,但要注意瞬时峰值电流是否会造成过电流保护动作。

(5) 当变频器与电动机功率不相同时,则必须相应调整节能程序的设置,以达到较高的节能效果。

变频器负载率  $\beta$  与效率  $\eta$  的关系曲线见图 4.9。

可见:当  $\beta = 50\%$  时,  $\eta = 94\%$ ; 当  $\beta = 100\%$  时,  $\eta =$



96%。虽然 $\beta$ 增一倍, $\eta$ 变化仅为2%,但对中大功率如几百千瓦至几千千瓦电动机而言也是可观的。

### 3. 从计算功率的角度

对于连续运转的变频器,必须同时满足以下三个计算公式。

(1) 满足负载输出: $P_{\text{CN}} \geq P_{\text{M}}/\eta$ ;

(2) 满足电动机容量: $P_{\text{CN}} \geq \sqrt{3}kU_{\text{e}}I_{\text{e}} \times 10^{-3}$ ;

(3) 满足电动机电流: $I_{\text{CN}} \geq kI_{\text{e}}$ 。

式中, $P_{\text{CN}}$ 为变频器容量(单位kVA), $P_{\text{M}}$ 为负载要求的电动机轴输出功率(单位kW), $U_{\text{e}}$ 为电动机额定电压(单位V), $I_{\text{e}}$ 为电动机额定电流(单位A), $\eta$ 为电动机效率(通常约为0.85), $k$ 是电流波形补偿系数(由于变频器的输出波形并不是完全的正弦波,而含有高次谐波的成分,其电流应有所增加,通常 $k$ 为1.05~1.1)。

## 4.2.4 电动机低频运行时所要考虑到的因素

在决定变频控制系统中电动机带负载能力的因素方面,必须考虑电动机在低速时的温升。

### 1. 低频运行时的电动机功耗

功耗是导致电动机发热的原因,当电动机的工作频率下降时,电动机内各种功耗的变化情形为:

(1) 铜损不变。由于电动机的额定电流不变,故铜损无变化。

(2) 铁损下降。由于铁损与频率有关,当频率下降时,铁损也下降。

(3) 机械损耗下降。由于机械损耗与转速有关,转速下降时,机械损耗也下降。

总之,当电动机的工作频率下降时,其内部的功耗将有所下降。

### 2. 低频运行时的电动机散热

一般情况下,中小容量电动机的散热主要靠转子轴上自带的风扇和内部的通风。显然,电动机低频运行时,转速也随之下降,通风情况变差。

根据实际运行情况得出,在低频运行时电动机对于内部功耗的散热效果远低于工频,从而导致电动机温升,电动机的带负载能力也随之下降。

为了克服电动机在低频带载能力低的弱点,必须采取强制风冷。而变频电动机是专门配备变频器使用的特殊电动机,变频电动机可在保证转矩的情况下长期低速运行。普通三相异步电动机的转速是固定的,电动机厂是根据电动机的转速设计风扇的。普通电动机如果用变频器降速运行,风扇的转速也会降低,风扇的风量就会下降,电动机温度会升高,而变频电动机是用另外加配的电风扇散热的。风扇不受电动机的转速限制,所以变频电动机特别适用于变频器控制时的低速运行。





## 4.2.5 变频器制动原理

### 1. 制动问题的提出

通用变频器大都为电压型交-直-交变频器,从变频器的基本结构图中可以知道三相交流电首先通过二极管不控整流桥得到脉动直流电,再经电解电容滤波稳压,最后经无源逆变输出电压、频率可调的交流电给电动机供电。这类变频器功率因数高,效率高,精度高,调速范围宽,所以在工业中获得广泛应用。

一般而言,负载的能量可以分为动能和势能两种。动能(由负载的速度和重量确定其大小)随着物体的运动而累积,当动能减为零时,该事物就处在停止状态。机械抱闸装置的方法是用制动装置把物体动能转换为摩擦和能消耗掉。对于变频器,如果输出频率降低,电动机转速将跟随频率同样降低,这时会产生制动过程。由制动产生的功率将返回到变频器侧,由于二极管不控整流器能量传输不可逆,产生的再生电能传输到直流侧滤波电容上,产生泵升电压;而以 GTR、IGBT 为代表的全控型器件耐压较低,过高的泵升电压有可能损坏开关器件、电解电容,甚至会破坏电动机的绝缘,从而威胁系统安全工作,这就限制了通用变频器的应用范围。因此,必须将这些功率消耗掉,如可以用电阻发热消耗。在用于提升类负载时,如负载下降,能量(势能)也要返回到变频器(或电源)侧,这种操作方法被称为“再生制动”。

在负载减速期间或长期被倒拖时,由电动机侧流到变频器直流母线侧产生的功率如果不通过热消耗的方法消耗掉,而是把能量返回送到变频器电源侧或通过直流母线并联的方式由其他电动状态的电动机消耗掉,则称为回馈制动。显然,如需要将能量直接返回到电源侧还需要一种特殊的装置,即能量回馈单元。

总而言之,为了改善制动能力,不能单纯期望靠增加变频器的容量来解决问题,而必须采用处理再生能量的方法:电阻能耗制动和回馈制动。

因此,在以下应用场合,用户必须考虑配套使用制动方式:电动机拖动大惯量负载(如离心机、龙门刨、巷道车、行车的大小车等)并要求急剧减速或停车;电动机拖动位能负载(如电梯、起重机、矿井提升机等);电动机经常处于被拖动状态(如离心机副机、造纸机导纸辊电动机、化纤机械牵伸机等)。以上几类负载的共同特点,要求电动机不仅运行于电动状态(一、三象限),而且要运行于发电制动状态(二、四象限)。

### 2. 电阻能耗制动的工作方式

电阻能耗制动采用的方法就是制动单元和制动电阻两部分,即通过内置或外加制动电阻的方法将电能消耗在大功率电阻器中,实现电动机的四象限运行。该方法虽然简单,但有如下严重缺点。

- (1) 浪费能量,降低了系统的效率;
- (2) 电阻发热严重,影响系统其他部分正常工作;
- (3) 简单的能耗制动有时不能及时抑制快速制动产生的泵升电压,限制了制动性能



的提高(制动转矩大,调速范围宽,动态性能好)。

## 4.2.6 变频器能耗制动的设计

能耗制动中涉及制动单元和制动电阻的选配计算方法,包括以下几种。

### 1. 制动转矩 $T_B$ 的计算

假设电动机从现在的运行速度开始制动,在一定的减速时间里,到达一个新的稳定转速,这样的—个制动过程所需的电磁转矩  $T_B$  可以由以下公式计算。

$$T_B = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2)(N_1 - N_2)}{375t_s} - T_L$$

式中,  $T_B$  为制动电磁转矩( $N \cdot m$ );  $GD_M^2$  为电动机的转动惯量( $N \cdot m^2$ );  $GD_L^2$  为电动机负载侧折算到电动机侧的转动惯量( $N \cdot m^2$ );  $T_L$  为负载阻转矩( $N \cdot m$ );  $N_1$  为制动前电动机速度( $r/min$ );  $N_2$  为制动后电动机转速( $r/min$ );  $t_s$  为减速时间( $s$ )。

—般情况下,在进行电动机制动时,电动机内部存在损耗,折合成制动转矩大约为电动机额定转矩的20%。因此,若所计算出的制动电磁转矩小于20%的电动机额定转矩,则表明无须外接制动装置。

在能耗制动中,要有足够的制动转矩才能产生需要的制动效果,制动转矩太小,变频器仍然会过电压跳脱。制动转矩越大,制动能力越强,制动性能越好。但是,制动转矩要求越大,设备投资也会越大。在制动转矩进行精确计算出现困难的时候,还可以进行估算来满足工程要求。

有这样一些经验值:按100%制动转矩设计,可以满足90%以上的负载;对电梯、提升机、吊车,按100%计算;对开卷和卷取设备,按120%计算;离心机负载为100%;需要急速停车的大惯性负载,可能需要120%的制动转矩;普通惯性负载80%。在极端的情况下,制动转矩可以设计为150%,此时对制动单元和制动电阻都必须仔细核算,因为此时设备可能工作在极限状态,一旦计算错误可能会损坏变频器本身。超过150%的转矩是没有必要的,因为超过这个数值,变频器本身也工作到了极限,没有增大的余地了。

### 2. 制动电阻的阻值计算

制动电阻的选择必须基于这样一个原则:电动机再生电能必须被电阻完全吸收。

在制动单元工作过程中,直流母线的电压升降取决于常数  $RC$ ,  $R$  为制动电阻的阻值,  $C$  为变频器的电解电容的容量。由充放电曲线可以知道,  $RC$  越小,母线电压的放电速度越快,在  $C$  保持一定(变频器型号确定)的情况下,  $R$  越小,母线电压的放电速度越快。由以下公式可以求出制动电阻的阻值:

$$R_B = \frac{U_C^2}{0.1047(T_B - 0.2T_M)N_1} (\Omega)$$

式中,  $U_C$  为制动单元动作电压值,取值可以参照第2章相关内容(通常可以取710V);  $T_M$  为电动机额定转矩( $N \cdot m$ )。



这里,设定  $N_2$  为 0,这样该阻值就能满足电动机各种减速状况的要求。

### 3. 制动单元的选择

在进行制动单元选择时,制动单元工作时流过开关管的最大瞬时电流要小于该器件的额定电流是选择的唯一依据,通过计算出最大电流值,就可以选择合适的制动单元,计算公式如下:

$$I_c = \frac{U_c}{R_B} (\text{A})$$

式中,  $U_c$  为制动单元直流母线电压值,在交流 380V 进线电源时取 800V;  $R_B$  为制动电阻阻值( $\Omega$ );  $I_c$  为制动电流瞬时值(A)。

一般变频器的硬件过压保护值为 760V,考虑其动作的滞后,将其适当加大,但不会超过 800V,因此在计算  $I_c$  时适当加大了  $U_c$ 。

### 4. 制动电阻的标称功率

由于制动电阻为短时工作制,即每次通电时间很短,在通电期间,电阻温升远远达不到稳定温升,但瞬时功率很高;每次通电后的间歇时间较长,在该段时间内其温度在不断下降,如此循环往复,最终电阻达到一定的稳定温升,一般有  $80 \sim 100^\circ\text{C}$ 。因此根据电阻的特性和技术指标,我们知道电阻的标称功率(额定功率)将小于通电时的消耗功率,一般可以由下式求得:

$$P_R = a \times P_s \times ED\% (\text{W})$$

式中,  $P_R$  为制动电阻的标称功率或额定功率(W);  $P_s$  为制动期间的平均消耗功率(W);  $ED\%$  为制动使用率,这里选择 10%;  $a$  为制动电阻降额系数,一般选 1.5~2,该值可以由电阻的降额曲线查得。

$P_s$  可由以下公式求得:

$$P_s = 0.1047 (T_s - 0.2T_M) \frac{N_1 + N_2}{2} (\text{W})$$

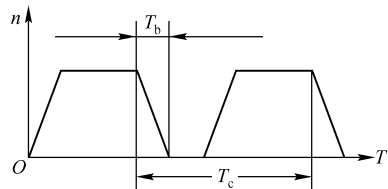


图 4.10 制动使用率

这里必须指出,制动使用率是根据负载的实际情况选定的,不同的工艺条件,  $ED\%$  就不一样。图 4.10 所示为制动使用率的示意。

这里以典型的升速、保持、降速为一个过程,从前一次减速制动到现在的减速制动为一个周期  $T_c$ ,减速时间即制动时间为  $T_b$ ,则制动使用率就由以下公式计算:

$$ED\% = (T_b / T_c) \times 100\%$$

一般而言,  $ED\%$  取值根据负载的实际制动特性,当然也可以由下面的经验值进行估算。

电梯  $ED\% = 10\% \sim 15\%$

油田磕头机  $ED\% = 10\% \sim 20\%$

开卷和卷取  $ED\% = 50\% \sim 60\%$  (最好按系统设计指标核算)



- 离心机  $ED\% = 5\% \sim 20\%$
- 下放高度超过 100m 的吊车  $ED\% = 20\% \sim 40\%$
- 偶然制动的负载  $ED\% = 5\%$
- 其他  $ED\% = 10\%$

以上所讲的都是电动机处于重复减速的周期制动情况,如果属于非重复减速,则其制动电阻的额定功率选择是不同的。另外,如果强迫风冷代替自然冷却,电阻的额定功率可以进一步减小。总之一句话,制动电阻的额定功率的计算基准是:电动机再生电能必须能被电阻完全吸收并变为热能释放。

确定了阻值和功率就可以基本确定制动电阻的参数,同时在制作方式上应采用双线并绕的无感电阻,当然也可用普通的箱式电阻,但需在电阻两端并接一只续流二极管,可使用快恢复二极管,耐压 1 000V 以上。

4.2.7 变频器能耗制动的应用

能耗制动的基本应用就是变频器、制动单元和制动电阻,且是一一对应的。由于制动单元一般具有通用性,制动电阻又可以功率和阻值自由选配,所以一对一的单机应用型能耗制动方案对品牌并无特殊要求。

能耗制动的基本应用方案一般有以下三种。

1. 无保护型

图 4.11 所示就是适用于用户选用的普通制动电阻。只要确保制动电阻的功率和散热条件良好,在不至于发生火灾隐患的情况下,就可以选用无保护型接线。

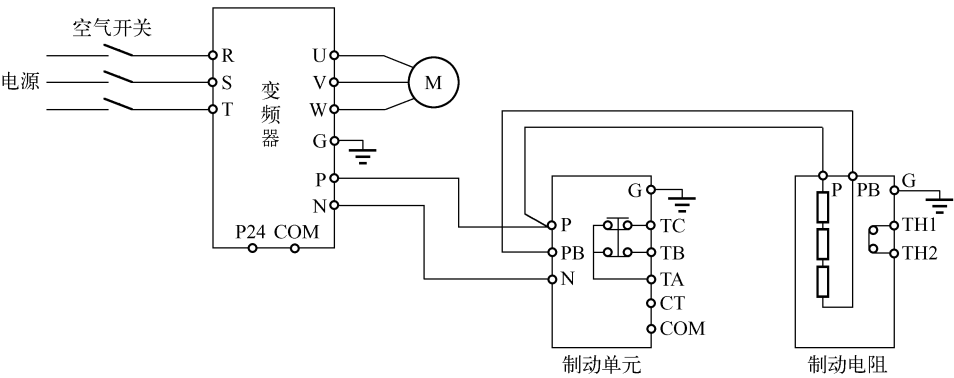


图 4.11 无保护型制动单元配线

图 4.11 中,制动单元以艾默生 TDB 系列为例,其端子说明如下:P 为直流母线正端,N 为直流母线负端,可以输入的电压规格为 DC 600V/40A;PB 为制动电阻的一端,另外一端为 P,接输出制动电阻;G 为制动单元接地;TA/TB/TC 为故障继电器的公共点、常闭点和常开点,可以接交流 220V/10A 或直流 30V/1A 以下的控制回路。

## 2. 接触器保护型

图 4.12 所示的接线通过进线接触器来保证变频器与制动单元的电气安全,也就是说当制动单元发生故障(TA/TB 动作)或制动电阻热保护(TH1/TH2 动作)时,立即切断接触器 KM,变频器和制动单元就处于安全保护状态。

采用接触器保护型的接线方式必须确保制动单元的动作触点和制动电阻的热触点处于有效的状态内,否则容易导致接触器不动作或频繁动作,反而造成系统损坏。

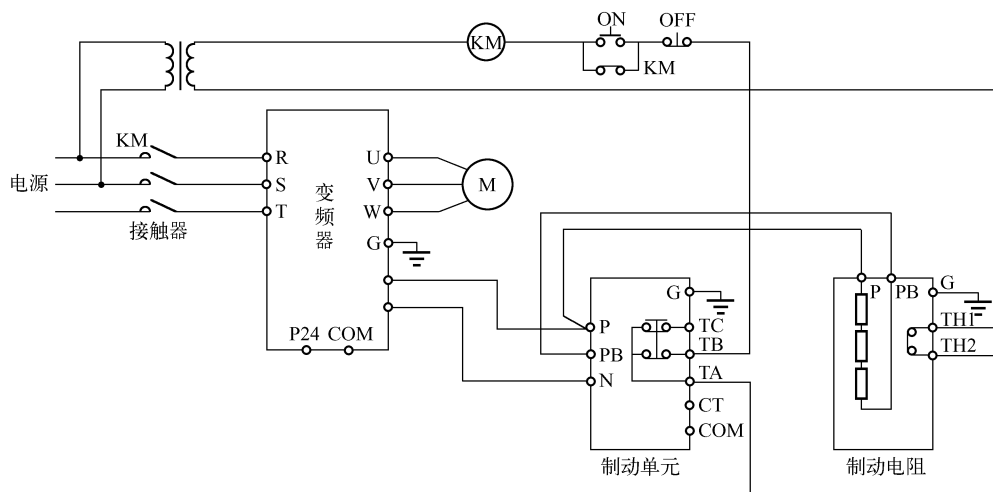


图 4.12 接触器保护型制动单元配线

## 3. 控制端子保护型

图 4.13 所示的接线通过定义控制端子为变频器的保护功能时封锁变频器的电压输

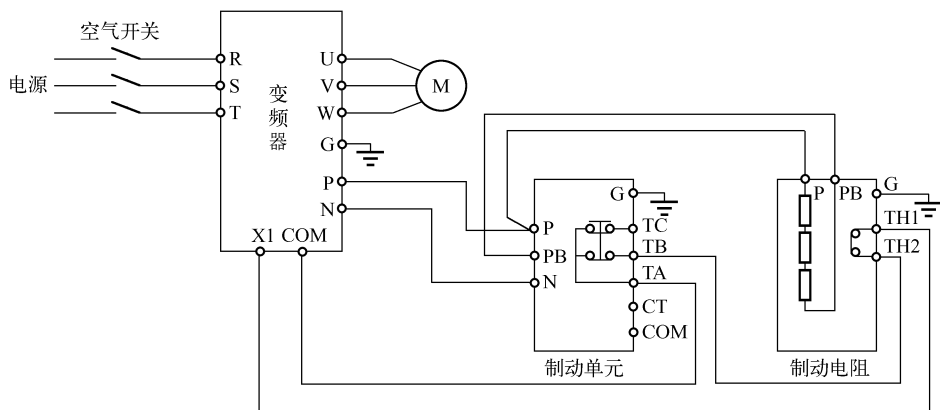


图 4.13 控制端子保护型制动单元配线



出,也就是说当制动单元发生故障(TA/TB 动作)或制动电阻热保护(TH1/TH2 动作)时,变频器的控制端子 X1 就处于有效接通的状态,变频器就认为外部设备故障,显示故障报警代码并停止输出。这种功能利用变频器特有的对输入外部设备的故障监视功能。

4. 能耗制动的扩充应用方案

由于制动单元的规格并不以电动机的规格为基础,而是按照制动时的电流来选配的,因此制动单元的型号相对较少,只有几种。如果单个制动单元并不能完全解决制动问题,就可以采用扩充应用方案,也就是制动单元并联的方案。

这里以安邦信公司 AMB-G7B-C03 制动单元为例进行多单元并联。安邦信的制动单元都有主/从控制单元设置,当一台制动单元运行时,把开关选择为主控制;当采用扩充应用方案时,即多台制动单元并联运行,优先选取其中一台作为主控制,其余的作为从控制,如图 4.14 所示。

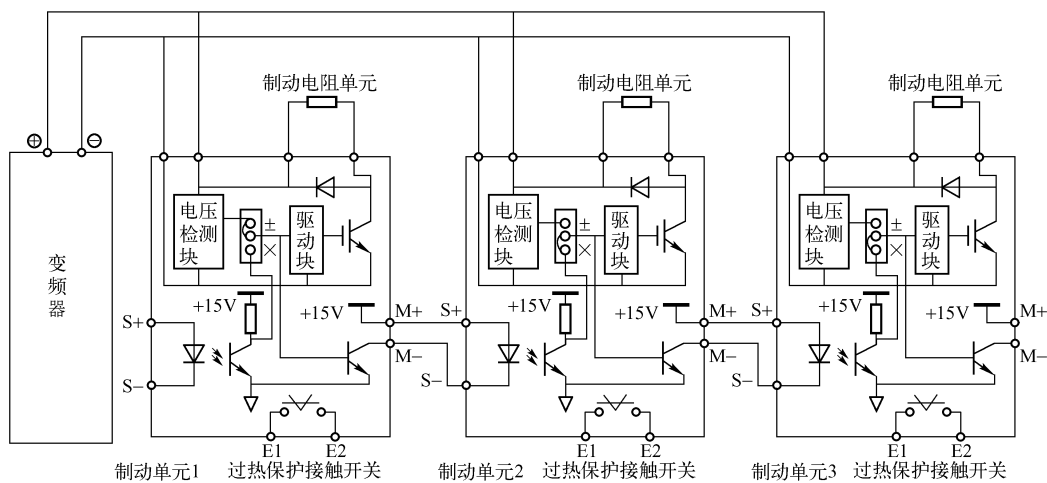


图 4.14 制动单元多单元并联

从图 4.14 中可以看到,当多台制动单元并行运行时,制动单元 1 作为主控单元,制动单元 2、3 作为从控单元,制动电阻单元的过热保护接线,控制端子 M + (输出控制正信号)、S + (输入控制正信号)和 M - (输出控制负信号)、S - (输入控制负信号)之间的导线长度不得超过 1m,并行连接的制动单元总数不得超过 10 个。

4.3 技能训练一:变频器 A700 的开环矢量调试

4.3.1 A700 变频器离线自动调整

变频器运行在开环矢量控制方式时,其控制性能是跟电动机的模型大有关系的,因此,必须对变频器对应的电动机进行参数辨识。其中最常用的一种方式“离线自动调



整”,从而在矢量运行时最大限度地发挥电动机的性能。这里以三菱 A700 为例介绍离线自动调整的相关技能。

### 1. 跟离线自动调整有关系的参数

在变频器对电动机进行参数辨识前,必须输入如表 4.1 所示的 4 个参数,包括适用电动机类型、额定电压、额定频率以及自动调整设定/状态。

表 4.1 跟离线自动调整有关系的参数

参数编号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容
71	适用电动机	0	0 ~ 8, 13 ~ 18, 20, 23, 24, 33, 34, 40, 43, 44, 50, 53, 54	通过选择标准电动机和恒转矩电动机,将分别确定不同的电动机热特性和电动机常数
83	电动机额定电压	400V	0 ~ 1 000V	设定电动机额定电压(V)
84	电动机额定频率	50Hz	10 ~ 120Hz	设定电动机额定频率(Hz)
96	自动调整设定/状态	0	0	不实施离线自动调整
			1	离线自动调整时电动机不运转
			101	离线自动调整时电动机运转

其中参数 Pr. 71 必须根据表 4.2 所示进行选择。

表 4.2 参数 Pr. 71 的选择

所使用的电动机		Pr. 71 的设定值
三菱标准电动机 三菱高效率电动机	SF-JR, SF-TH	3
	SF-JR, 4P 1.5kW 以下	23
	SF-HR	43
	其他	13
三菱恒转矩电动机	SF-JRCA, SF-TH(恒转矩)	13
	SF-HRCA	53
	其他(SF-JRC 等)	13
矢量控制专用电动机	SF-V5RU SF-THY	33
其他公司制造的标准电动机	—	3
其他公司制造的恒转矩电动机	—	13

显然,由于在数控车床主轴控制进行矢量控制时选用电动机基本都是 Y、Y2 或 YVP 等系列国产电动机,因此选择为“其他公司制造的标准电动机”或“其他公司制造的恒转矩电动机”,即 Pr. 71 = 3 或 13。

### 2. 准备工作

在执行离线自动调整之前,请进行以下确认。



- (1) 对电动机的参数进行设定( Pr. 80 和 Pr. 81 )。
- (2) 对变频器的运行方式进行设定( Pr. 800 )。
- (3) 连接好电动机,并确保在开始调整时电动机处于停止状态。

按照电动机容量与变频器容量相同或是电动机容量比变频器容量小一级的组合进行运行。但是电动机容量至少应为 0.4kW 以上。

对于 55kW 以下的变频器,如果在变频器和电动机间连接了浪涌电压抑制滤波器 (FR-ASF-H),对于 75kW 以上的变频器,如果在变频器和电动机间连接了正弦波滤波器 (MT-BSL/BSC),则执行离线自动调整时将无法正确调谐。此时需要拆除这些滤波器后再执行调整操作。

- (4) 根据离线调整方式,确保电动机与负载的连接方式不影响到离线自动调整。

在电动机不运转的离线自动调整( Pr. 96 自动调整设定/状态 = “1”)方式下,电动机可能会发生极微小的运动,需要通过机械制动器加以可靠的固定,或确认电动机转动在安全方面也不存在问题后再进行调谐(特别是用于升降机时,尤其要注意)。同时,电动机轻微转动不会影响调谐性能。

选择了电动机运转的离线自动调整( Pr. 96 自动调整设定/状态 = “101”)时,应注意调谐过程中转矩不充分的情况会发生,即使运转至电动机额定速度附近也不会发生设备安全问题,同时确保制动器已放开,且不能在受到外力的情况下运转。

3. 执行调整

- (1) 设置变频器运行方式为 PU,按下操作面板上的(FWD)/(REV);外部运行时请将启动指令 (STF 信号或 STR 信号) 设为 ON,开始调谐操作。
- (2) 以 Pr. 96 自动调整设定/状态 = “101”为例进行调整,如图 4.15 所示。

	操作面板 (FR-DU07) 显示
Pr. 96 设定值	101
(1) 设定	
(2) 调整中	
(3) 正常结束	
(4) 异常结束 (变频器保护功能动作时)	

图 4.15 自动调整






(3) 离线自动调整的时间根据参数选择不同会有所变化,具体如表 4.3 所示。

表 4.3 离线自动调整的时间

离线自动调整设定	时 间
电动机不运转模式(Pr. 96 = “1”)	约 25 ~ 120s (变频器容量和电动机的种类不同,时间也不相同)
电动机运转模式(Pr. 96 = “101”)	约 40s (根据加/减速时间的设定,离线自动调整时间 = 加速时间 + 减速时间 + 约 30s)

(4) 在离线自动调整完成后,如为 PU 运行时,请按下操作面板上的 ;如为外部运行时,请将启动信号(STF 信号或 STR 信号)设为 OFF。实施此操作后,离线自动调整被解除,PU 的监视器显示将恢复为正常显示。

(5) 调谐完成后请勿变更 Pr. 96 的设定值(3 或 103)。如果用户变更了 Pr. 96 的设定值,则调谐数据将无效,如果还是希望运行在开环矢量控制方式下,则需要再次进行调谐。

(6) 离线自动调整如果异常结束(参见表 4.4),电动机参数未得到设定,则需要在变频器复位后重新进行调谐操作。

表 4.4 异常结束错误代码

错误显示	错误原因	处理方法
8	强制结束	重新设定 Pr. 96 = “1”或“101”
9	变频器保护功能动作	再次重新进行设定
91	电流限制(失速防止)功能动作	延长加减速时间设定 Pr. 156 = “1”
92	变频器输出电压为额定值的 75%	确认电源电压的变动
93	计算错误 忘记连接电动机	确认电动机的配线,再次重新进行设定

在调谐过程中将启动信号(STF 信号或 STR 信号)设为 OFF,强制结束调谐时,离线自动调谐未能正常结束,也就是说电动机参数未得到设定,这时需在变频器复位后重新进行调整操作。

### 4.3.2 A700 变频器在线自动调整

由于在变频器进行矢量控制时用到了极易受温度影响的转子参数,参数的变化直接影响了电动机的调速性能,使得实际上的控制效果远不如理论分析的那么完美。我们知道,纯金属的电阻其阻值随温度的升高而增大,温度升高 1℃ 电阻值要增大千分之几。因此,必须要对电动机在温度发生变化时进行温度补偿,以实现良好的速度控制和转矩控制。

对于 A700 变频器来说,可以简单地选择 Pr. 95 来进行在线自动调整,具体如表 4.5 所示。



表 4.5 在线自动调整参数设置

参数编号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容
95	在线自动调整	0	0	不实施在线自动调整
			1	启动时在线自动调整
			2	磁通监测器(常时调整)

1. 电动机一开机运行即进行在线自动调整

由于在线自动调整需要进行 CPU 运算,对于某些高性能控制要求的电动机控制来说,如果只在每一次开机运行时进行“在线自动调整”就能节省大量的时间,也能提高控制精度。这种情况下,只需设定 Pr. 95 = 1。

操作步骤如下。

(1) 确认 Pr. 80、Pr. 81 和 Pr. 800 为合适的值,即选择开环矢量控制方式。

(2) 确认 Pr. 96 自动调整设定/状态为“3”或“103”(离线自动调整完成),这意味着在实施在线自动调谐前,务必实施离线自动调整。

(3) 设定 Pr. 95 在线自动调整选择 = “1”(启动时在线自动调整),在下一次启动时将执行在线自动调整。

(4) 设为 PU 运行时,需要按下操作面板上的(FWD)/(REV);在外部运行时,将运行指令(STF 信号或 STR 信号)设为 ON。

通过以上步骤就能在启动时迅速对电动机的状态进行调谐,可以实现不受电动机温度影响的高精度运行,以及实现超低速下的高转矩、稳定运行。

2. 实时在线自动调整

设定 Pr. 95 = 2 的前提条件是使用带 PG 的电动机并实施矢量控制,这对于提高转矩精度非常有效,其原理是通过流过电动机的电流和变频器的输出电压来推断和监测电动机内部的磁通。

在实时在线自动调整下,由于可始终高精度地推断出电动机的磁通,变频矢量控制效果不会受电阻的温度变化影响,从而取得良好的运行特性。

4.3.3 开环矢量控制的实施步骤

速度控制用于确保速度指令和实际电动机转速一致,请设置合理的开环矢量控制。开环矢量控制的实施步骤如下。

(1) 实施可靠的配线。

(2) 进行所使用电动机的设定(Pr. 71)。

(3) 进行电动机容量、电动机极数的设定(Pr. 80, Pr. 81)。

在 Pr. 80 电动机容量中设定电动机容量(kW);在 Pr. 81 电动机极数中设定电动机极数(POLE 数)。当变频器参数进行初始化时,其设定值为“9 999”,默认为 V/f 控制。



(4) 进行控制方法的选择。

选择 Pr. 800 = “10”(速度控制)或“12”(速度 - 转矩切换),以使速度控制有效。

(5) 进行运行指令的设定。

选择启动指令和速度指令。

① 启动指令。

- 操作面板:通过操作面板上的(FWD)/(REV)进行设定;
- 外部指令:通过正转、反转指令(端子 STF 或 STR)进行设定。

② 速度指令。实时开环矢量控制的速度指令设定范围为 0 ~ 120Hz,它可以通过以下三种方式进行输入。

- 操作面板:通过操作面板上的(●)进行设定;
- 外部模拟指令(端子 2 或 4):通过端子 2 (或端子 4)所输入的模拟信号发出速度指令;
- 多段速指令:速度指令也可通过外部信号(RH, RM, RL)发出指令。

(6) 进行转矩限制的设定(Pr. 810)。

(7) 实施离线自动调整(Pr. 96)。

实时无传感器控制方式时,请在运行前切实实施离线自动调整。

(8) 试运行。

## 4.4 技能训练二:主轴变频器与制动单元及电阻的连接

### 4.4.1 A700 变频器与专用外接制动电阻器的连接

#### 1. 连接专用外接制动电阻器

变频器 A700 的端子 P/+、PR 上虽然连接有内置制动电阻,但如果实施高频率的运行,则内置的制动电阻的热能力将不足,需要在外部安装专用制动电阻器(FR-ABR)。此时需要拆下端子 PR-PX 的短路片(7.5kW 以下),将专用制动电阻器(FR-ABR)连接至端子 P/+、PR。

通过拆下端子 PR-PX 间的短路片,将不再使用内置制动电阻器。但是,没有必要将内置制动电阻器从变频器拆下,也没有必要将内置制动电阻器的引线从端子排上拆下。

另外,在连接制动电阻器后,还需要设定下述参数。

- Pr. 30 再生制动功能选择 = “1”;
- Pr. 70 特殊再生制动使用率 = “7.5kW 以下:10%, 11kW 以上:6%”。

对三菱 A700 FR-A740-2.2K-CHT 变频器进行外接制动电阻器的安装步骤如下。

(1) 拆下端子 PR 和端子 PX 的螺钉,取下短路片(如图 4.16 所示)。

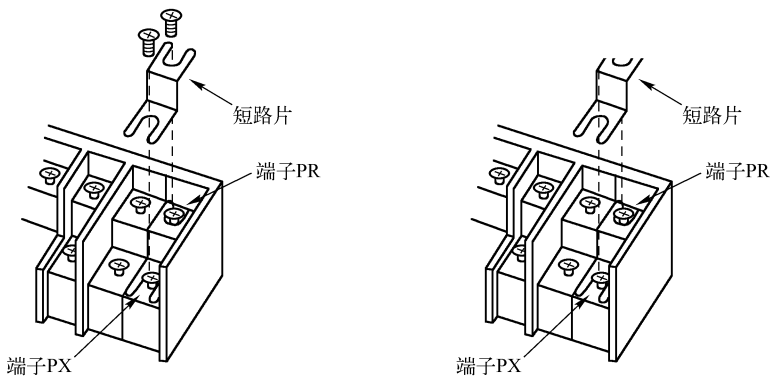


图 4.16 连接外接制动电阻器

(2) 在端子 P/+、PR 上连接制动电阻。

2. 过流保护

为了防止变频器内置制动单元短路故障时导致制动电阻器过热和烧毁,建议按照图 4.17所示安装过流保护器,并将过流保护器的触点信号接入到变频器的多功能输入端(图中未画出)。

过流保护器的选型如表 4.6 所示。

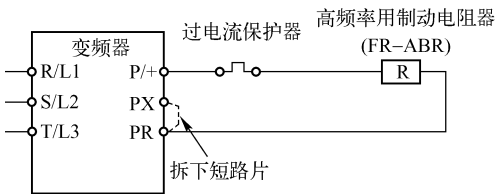


图 4.17 过流保护的主电路连接

表 4.6 过流保护器的选型

高频率用制动电阻器	过电流保护器的型号
FR-ABR-H0.4K	0.24A
FR-ABR-H0.75K	0.35A
FR-ABR-H1.5K	0.9A
FR-ABR-H2.2K	1.3A
FR-ABR-H3.7K	2.1A
FR-ABR-H5.5K	2.5A
FR-ABR-H7.5K	3.6A
FR-ABR-H11K	6.6A
FR-ABR-H15K	6.6A

4.4.2 A700 变频器与制动单元 FR-BU 的连接

制动单元 FR-BU 连接时应使变频器端子(P/+、N/-)与 FR-BU(H)制动单元的端子的记号相同(接错时会损坏变频器),7.5kW 以下的变频器在使用 FR-BU 时,必须拆除端子 PR-PX 间的短路片。同时,变频器制动单元(FR-BU)阻抗器单元(FR-BR)之间的布线距离应在 5m 以内,即使是用双绞线也应限定在 10m 以内。具体连接如图 4.18 所示。

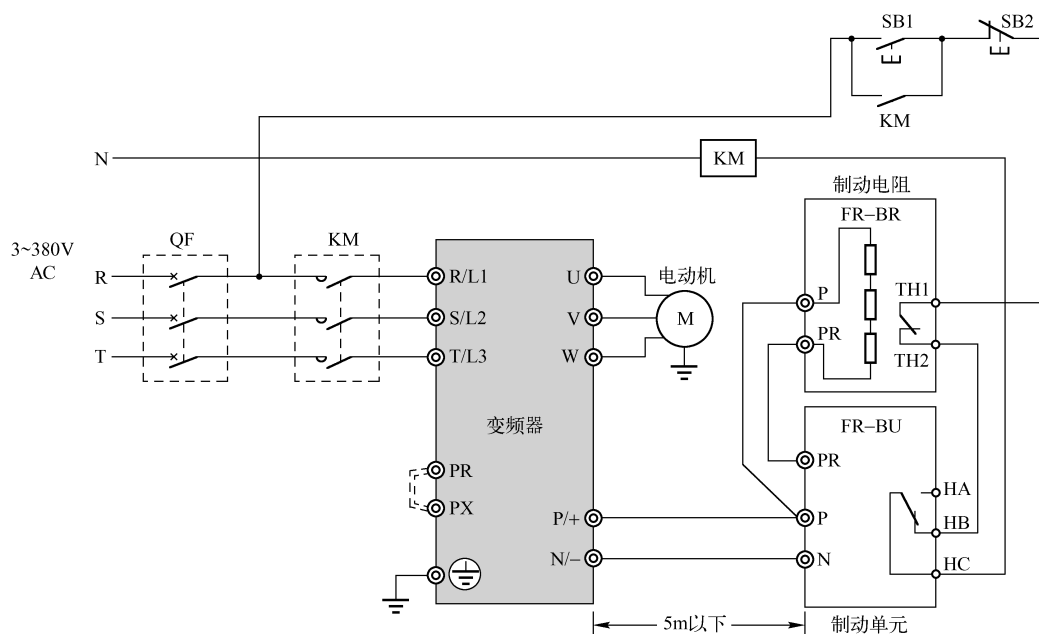


图 4.18 制动单元 FR-BU 与变频器、制动电阻的连接

### 4.4.3 A700 变频器与制动单元 MT-BU5 的连接

当变频器功率在 75kW 以上,且制动要求比较高时,建议采用 MT-BU5,因为它具有多路制动电阻输出,具体连接如图 4.19 所示。

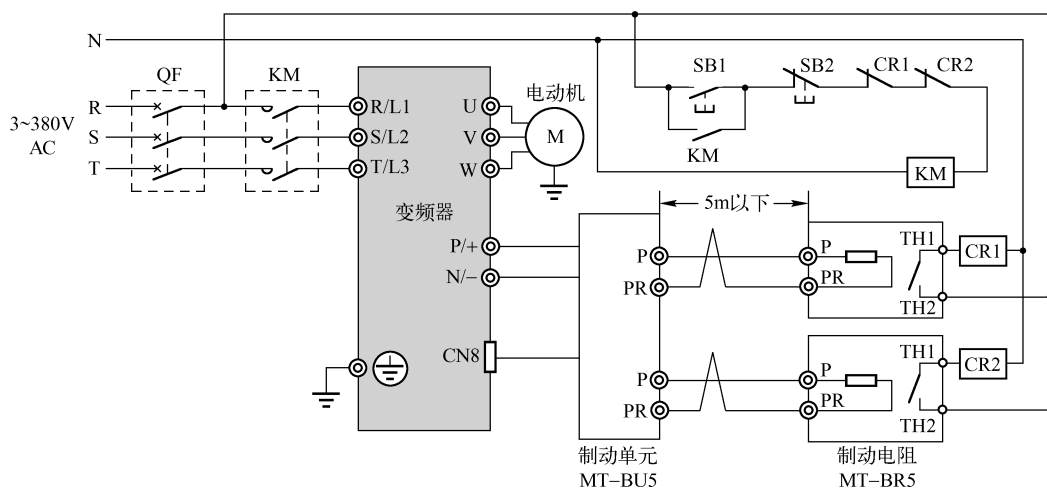


图 4.19 制动单元 MT-BU5 与变频器、制动电阻的连接



4.4.4 A700 变频器制动参数的设置与调试

与制动相关的参数共有 Pr. 30 和 Pr. 70 两个,其设置必须遵照表 4.7 所示进行,其中制动率的选择可以参照上节内容进行设置和调试。

表 4.7 制动相关参数

参数号	名 称	初始值	设 定 范 围		内 容	
					再 生 单 元	给变频器供电的端子
30	再生功能选择	0	0		内置制动电阻器无再生功能、制动器单元(FR-BU,BU 型)	R,S,T
			10			P,N( 直流供电模式 1)
			20			R,S,T/P,N ( 直流供电模式 2)
			1		高频率用制动电阻器,制动单元 ( MT-BU5 ), 电源再生变频器 ( MT-RC )	P,S,T
			11			P,N( 直流供电模式 1)
			21			P,N( 直流供电模式 2)
			2		高功率变频器 ( FR-HC、MT-HC ), 电源再生变频器 ( FR-CV )	P,N
70	特殊再生制动器使用率	0%	55kW 以下	0 ~ 30%	设定内置制动晶体管动作的 ED%	
			75kW 以上	0 ~ 10%		

4.5 项目设计方案

4.5.1 数控机床主轴驱动功率、转速范围和控制方式的确定

1. 数控机床主轴对变频器传动的要求

数控机床的技术水平依赖于进给和主轴传动系统的性能,对于主轴变频器传动来说,主要有下述要求。

- (1) 调速范围要宽。调速范围  $r$  是主轴电动机的最高转速与最低转速之比,即  $r = n_{\max}/n_{\min}$ 。为适应不同零件及不同加工工艺方法对主轴参数的要求,数控机床的主轴传动系统应能在很宽的范围内实现调速。
- (2) 低速时大转矩输出。数控机床切削加工,一般低速时为大切削量(切削深度和宽度),要求主轴传动系统在低速运行时,要有大的输出转矩。
- (3) 速度和功率不断提高。随着生产力的不断提高,机床结构的改进,加工范围的扩大,要求机床主轴的速度和功率也不断提高,主轴的转速范围也不断扩大,主轴的恒功率调速范围更大,并有自动换刀的主轴准停功能等。



为了实现上述要求,主轴驱动要采用无级调速系统驱动。一般情况下主轴驱动只有速度控制要求,少量有位置控制要求,所以主轴控制系统只有速度控制环,且大多选用适量控制的交流变频器,如图 4.20 所示。

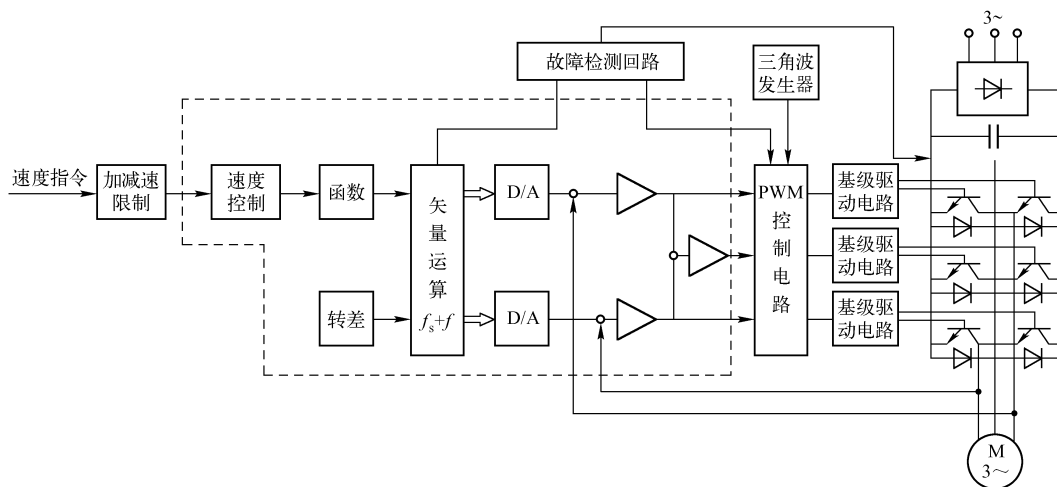


图 4.20 交流变频主轴驱动原理框图

## 2. 主轴变频控制的基本原理

由异步电动机理论可知,主轴电动机的转速公式为

$$n = 60f/p \times (1 - s)$$

式中, $p$  为电动机的极对数; $s$  为转差率; $f$  为供电电源的频率; $n$  为电动机的转速。

从上式可看出,电动机转速与频率近似成正比,改变频率即可以平滑地调节电动机转速。而对于变频器而言,其频率的调节范围是很宽的,可在  $0 \sim 400\text{Hz}$  (甚至更高频率) 之间任意调节,因此主轴电动机转速即可以在较宽的范围内调节。

当然,转速提高后,还应考虑到对其轴承及绕组的影响,防止电动机过分磨损及过热,一般可以通过设定最高频率来进行限定。

图 4.21 所示为变频器在数控车床上的应用,其中变频器与数控装置的联系通常包括:

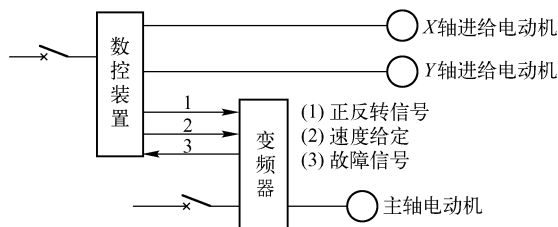


图 4.21 变频器在数控车床上的应用

- (1) 数控装置到变频器的正反转信号;
- (2) 数控装置到变频器的速度或频率信号;
- (3) 变频器到数控装置的故障等状态信号。



因此所有对变频器的操作和反馈均可在数控面板上进行编程和显示。

### 3. 主轴变频控制的系统构成

不使用变频器进行变速传动的数控车床一般用时间控制器确认电动机转速到达指令速度开始进刀,而使用变频器后,机床可按指令信号进刀,这样一来就提高了效率。如果被加工件呈图 4.22(a)所示形状,则由图中看出,对应于工件的  $AB$  段,主轴速度维持在  $1\,000\text{r/min}$ ,对应于  $BC$  段,电动机拖动主轴成恒线速度移动,但转速却是联系变化的,从而实现高精度切削。

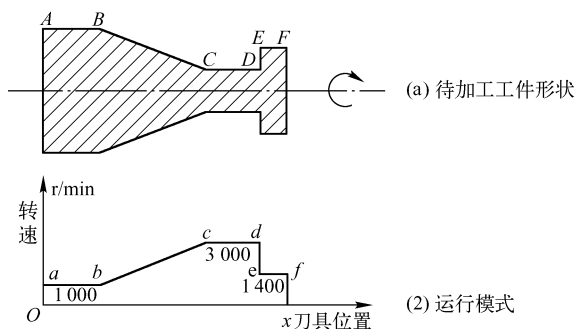


图 4.22 主轴变频器系统构成示意

在本系统中,速度信号通过数控装置传递到变频器的模拟给定通道(电压或电流),通过变频器内部关于输入信号与设定频率的输入、输出特性曲线的设置,数控装置就可以方便而自由地控制主轴的速度。该特性曲线必须涵盖电压/电流信号、正/反作用、单/双极性的不同配置,以满足数控车床快速正反转、自由调速、变速切削的要求。

### 4. 主轴变频器的基本选型

目前较为简单的一类变频器采用  $V/f$  控制,它是一种电压发生模式装置,对调频过程中的电压进行给定变化模式调节,常见的有线性  $V/f$  控制(用于恒转矩)和平方  $V/f$  控制(用于风机水泵变转矩)。

在数控车床中,变频器  $V/f$  控制的弱点在于低频转矩不够(需要转矩提升),速度稳定性不好(调速范围  $1:10$ ),因此在车床主轴变频使用过程中被逐步淘汰,而矢量控制的变频器正逐步进行推广。

所谓矢量控制,最通俗地讲,就是为使鼠笼式异步机像直流电动机那样具有优秀的运行性能及很高的控制性能,通过控制变频器输出电流的大小、频率及其相位,用以维持电动机内部的磁通为设定值,产生所需要的转矩。

矢量控制相对于标量控制而言,其优点有:

- (1) 控制特性非常优良,可与直流电动机的电枢电流加励磁电流调节相媲美;
- (2) 能适应要求高速响应的场合;
- (3) 调速范围大( $1:100$ );





(4) 可进行转矩控制。

当然相对于  $V/f$  控制而言,矢量控制的结构复杂,计算烦琐,而且必须存储和频繁地使用电动机的参数。矢量控制分无速度传感器和有速度传感器两种方式,区别在于后者具有更高的速度控制精度(万分之五),而前者为千分之五,但是在数控车床中开环矢量变频器的控制性能已经符合控制要求,所以这里推荐并介绍矢量变频器。

## 4.5.2 华中 HNC-21 数控装置与变频器的连接

华中 HNC-21 数控装置通过 XS9 主轴控制接口和 PLC 输入/输出接口,连接各种主轴驱动器,实现正反转、定向、调速等控制。

### 1. 主轴启停

主轴启停控制由数控内置 PLC 承担,标准车床 PLC 程序中关于主轴启停控制的信号如表 4.8 所示。

利用 Y1.0、Y1.1 输出即可控制主轴装置的正、反转及停止,一般定义接通有效。当 Y1.0 接通时,可控制主轴装置正转;当 Y1.1 接通时,主轴装置反转;二者都不接通时,主轴装置停止旋转。在使用某些主轴变频器或主轴伺服单元时,也用 Y1.0、Y1.1 作为主轴单元的使能信号。

部分主轴装置的运转方向由速度给定信号的正、负极性控制,这时可将主轴正转信号用做主轴使能控制,主轴反转信号不用。

部分主轴控制器有速度到达和零速信号,由此可使用主轴速度到达和主轴零速输入,实现 PLC 对主轴运转状态的监控。

表 4.8 与主轴启停有关的输入/输出开关量信号

信 号 说 明	标号(X/Y 地址)		所在接口	信号名	脚号
	铣	车			
输入开关量					
主轴速度到达	X3. 1	X3. 1	XS11	I25	23
主轴零速	X3. 2			I26	10
输出开关量					
主轴正转	Y1. 0	Y1. 0	XS20	008	9
主轴反转	Y1. 1	Y1. 1		009	21

### 2. 主轴速度控制

华中 HNC-21 通过 XS9 主轴接口中的模拟量输出可控制主轴转速,当主轴模拟量的输出范围为  $-10 \sim +10V$  时,用于双极性速度指令输入主轴驱动单元或变频器,这时采用使能信号控制主轴的启停。当主轴模拟量的输出范围为  $0 \sim +10V$  时,用于单极性速度



指令输入的主轴驱动单元或变频器,这时采用主轴正转、主轴反转信号控制主轴的正、反转。模拟电压的值由用户 PLC 程序送到相应接口的数字量决定。

3. 数控装置与主轴装置的连接

采用交流变频器控制交流变频电动机,可在一定范围内实现主轴的无级变速,这时需利用数控装置的主轴控制接口(XS9)中的模拟量电压输出信号,作为变频器的速度给定,采用开关量输出信号(XS20、XS21)控制主轴启停(或正、反转)。华中 HNC-21 数控装置与主轴变频器的接线图如图 4.23 所示。

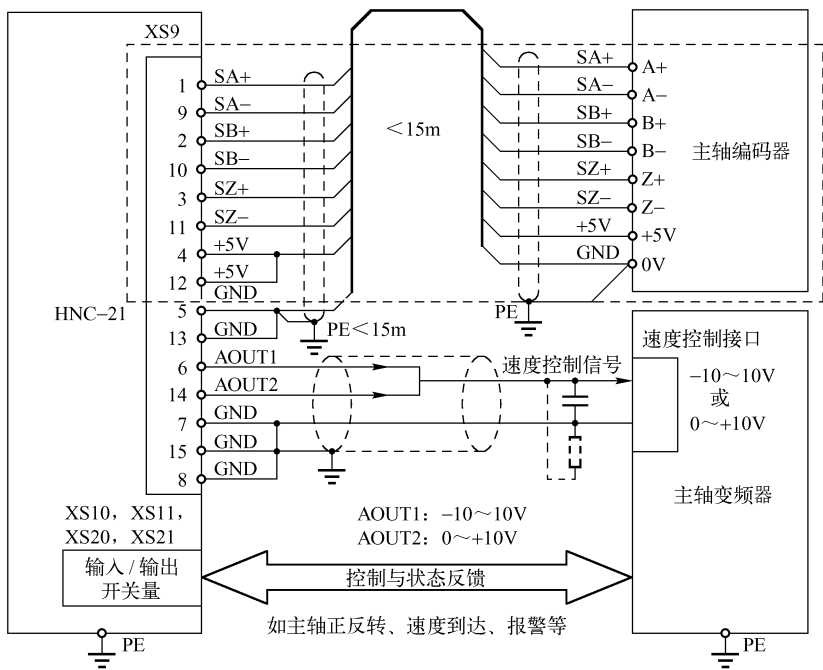


图 4.23 数控装置与主轴变频器的接线图  
(本方案未采用主轴编码器则虚线框中的内容没有)

4.5.3 数控车床主轴变频器的连线与调试

将 A700 变频器与华中世纪星数控系统相连接,根据变频器设置其连接电动机的参数,由华中世纪星数控系统的主轴控制命令控制变频器的运行。

1. 变频器与华中世纪星数控系统的连接

A700 变频器 FR-A740-2.2K-CHT 与华中世纪星数控系统连接的端子与接口如图 4.24 所示。

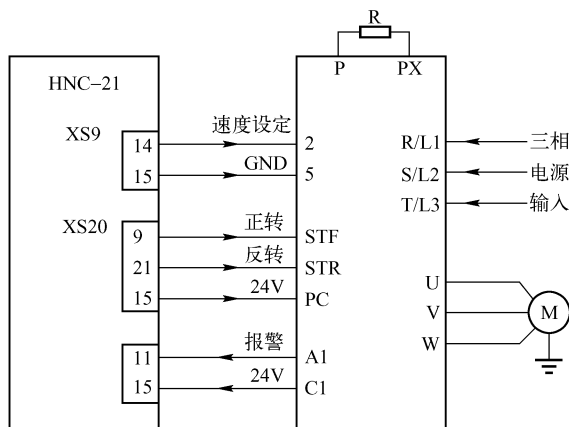


图 4.24 变频器与华中世纪星数控系统的连接图

为了与华中世纪星数控系统 I/O 控制逻辑功能配合,需将 A700 型变频器的模拟量输入设置为 0~10V,开关量输入为外部带电源晶体管输入。另外,由于采用外接电阻,必须将原有的电阻拆下(如项目 4.4.2 所示)。

## 2. 变频器参数的设置

(1) 离线自动调整。由于数控车床主轴所需的低速转矩要求比较高,因此必须对所搭配的标准电动机进行离线自动调整,调整前先把所有参数进行初始化,接下来的调整步骤可以参考上节内容,并按照表 4.9 进行参数设定。

表 4.9 电动机离线调整表

设定参数步骤	参数代码	功能简述	设定数据
步骤 1	Pr. 79	运行模式选择	0(切换到 PU 运行)
步骤 2	Pr. 71	适用电动机	3(标准电动机)
步骤 3	Pr. 80	电动机容量	2.2kW
步骤 4	Pr. 81	电动机极数	4
步骤 5	Pr. 800	控制方法选择	10(速度控制)
步骤 6	Pr. 810	转矩限制输入方法选择	0(内部转矩限制)
步骤 7	Pr. 96	自动调整设定/状态	101(调谐时电动机运转)

待正常调整结束,Pr. 96 的参数值变成“103”后,可以观察到 Pr. 90~Pr. 94 的参数值已经发生变化。如果离线调整遇到故障代码,请按照要求进行重新调整,直至完全正确为止。

(2) 常规参数设置。如表 4.10 所示为数控车床主轴变频控制的常规参数设置,它包括上限和下限频率、基底频率、加速和减速时间、电子过流保护、运行模式、正转命令、AU 功能等。



表 4. 10 常规参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 1	上限频率	100Hz( 车床最高频率)
Pr. 2	下限频率	0Hz
Pr. 3	基底频率	50Hz
Pr. 7	加速时间	6s
Pr. 8	减速时间	6s
Pr. 9	电子过流保护	45A
Pr. 30	再生制动功能选择	1
Pr. 70	特殊再生制动使用率	10%
Pr. 73	模拟量输入选择	0( 0 ~ 10V)
Pr. 79	运行模式选择	2( 固定外部运行模式)
Pr. 178	STF 端子功能选择	60( 正转)
Pr. 179	STR 端子功能选择	61( 反转)
Pr. 195	ABC1 端子功能选择	99( 异常输出)

4. 6 技术答疑

【问题 1】变频器在数控车床中出问题后,需要重新更换为另外一台变频器,但是电动机与齿轮箱连在一起(不是采用皮带传动),如何进行参数辨识?

如果变频器在运行中出问题,需要重新更换为另外一台变频器,这时就必须进行电动机参数重新辨识。但是由于数控车床主轴传动是用齿轮箱连接在一起的,在机械部分很难拆除的情况下,可以实施“离线自动调整时电动机不运转”命令,即 Pr. 96 = 1,这时 A700 的 PU 上所显示的信息就如图 4. 14 所示。



图 4. 25 离线自动调整时电动机不运转

【问题 2】由于 HNC-21 的正反转信号输出给变频器 A700 采用外接 24V 电源,需要注意什么问题?

采用漏型逻辑时,将端子 PC 作为公共端子,按照图 4. 26 所示进行配线。此时,变频器的 SD 端子请不要与外部电源的 0V 端子连接,且端子 PC-SD 间使用 DC 24V 电源时,变频器的外部不可以设置并联的电源,有可能会因漏电流而导致错误动作。

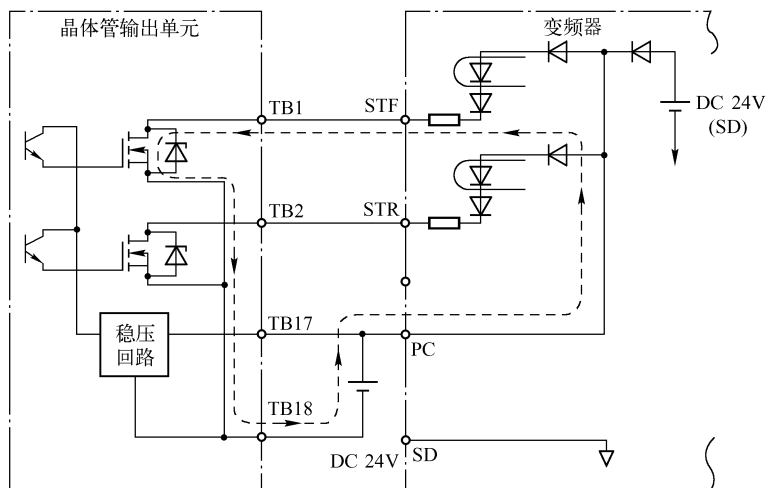


图 4.26 漏型逻辑下的外部接线

**【问题 3】** 机床主轴在传动控制中,在快速制动时经常会发生“过压”现象,这是为什么? 如何解决过压问题?

### 1. 过压问题的提出

变频器过压故障保护是变频器中间直流电压达到危险程度后采取的保护措施,这是电压型交-直-交变频器设计上的一大缺陷。在变频器实际运行中引起此故障的原因较多,可以采取的措施也较多,在处理此类故障时要分析清楚故障原因,有针对性地采取相应的措施去处理。

通用变频器大都为电压型交-直-交变频器,从第 1 章的基本结构图中可以知道,三相交流电首先通过二极管不控整流桥得到脉动直流电,再经电解电容滤波稳压,最后经无源逆变输出电压、频率可调的交流电给电动机供电。一般而言,负载的能量可以分为动能和势能两种。动能(由负载的速度和重量确定其大小)随着物体的运动而累积,当动能减为零时,该物体就处在停止状态。

对于变频器,如果输出频率降低,电动机转速将跟随频率同样降低,这时会产生制动过程,由制动产生的功率将返回到变频器侧,由于二极管不控整流器能量传输不可逆,产生的再生电能传输到直流侧滤波电容上,产生泵升电压;而以 GTR、IGBT 为代表的全控型器件耐压较低,过高的泵升电压有可能损坏开关器件、电解电容,甚至会破坏电动机的绝缘,从而威胁系统安全工作,这就限制了通用变频器的应用范围。因此,必须将这些功率消耗掉,如可以用电阻发热消耗。在用于提升类负载时,如负载下降,能量(势能)也要返回到变频器(或电源)侧,这种操作方法被称做“再生制动”。

在负载减速期间或者长期被倒拖时,由电动机侧流到变频器直流母线侧产生的功率不通过热消耗的方法消耗掉,而是把能量返回送到变频器电源侧或者通过直流母线并联的方式由其他电动状态的电动机消耗的方法叫做回馈制动。显然,如需要将能量直接返回到电源侧,还需要一种特殊的装置,即能量回馈单元。



总而言之,为了改善制动能力,不能单纯期望靠增加变频器的容量来解决问题,而必须采用处理再生能量的方法:电阻能耗制动和回馈制动。

## 2. 变频器过压故障的危害性

变频器过压主要是指其中间直流回路过压。中间直流回路过压主要危害在于:

(1) 引起电动机磁路饱和。对于电动机来说,电压过高必然使电动机铁芯磁通增加,可能导致磁路饱和,励磁电流过大,从而引起电动机温升过高。

(2) 损害电动机绝缘。中间直流回路电压升高后,变频器输出电压的脉冲幅度过大,对电动机绝缘寿命有很大的影响。

(3) 对中间直流回路滤波电容器寿命有直接影响,严重时会引起电容器爆裂。因而变频器厂家一般将中间直流回路过压值限定在 DC 800V 左右,一旦其电压超过限定值,变频器将按限定要求跳闸保护。

正是基于过压的严重危害性,在以下变频器应用场合,用户必须考虑配套使用制动方式:电动机拖动大惯量负载(如离心机、龙门刨、巷道车、行车的大小车等)并要求急剧减速或停车;电动机拖动位能负载(如电梯、起重机、矿井提升机等);电动机经常处于被拖动状态(如离心机副机、造纸机导纸辊电动机、化纤机械牵伸机等)。

## 3. 产生变频器过压的原因

一般能引起中间直流回路过压的原因主要来自以下两个方面。

(1) 来自电源输入侧的过压。正常情况下的电源电压为 380V,允许误差为  $-5\% \sim +10\%$ ,经三相桥式全波整流后中间直流的峰值为 591V,个别情况下电源线电压达到 450V,其峰值电压也只有 636V,并不算很高,一般电源电压不会使变频器因过压跳闸。电源输入侧的过压主要是指电源侧的冲击过压,如雷电引起的过压,补偿电容在合闸或断开时形成的过压等,主要特点是电压变化率  $dV/dt$  和幅值都很大。

(2) 来自负载侧的过压。主要是指由于某种原因使电动机处于再生发电状态时,即电动机处于实际转速比变频频率决定的同步转速高的状态,负载的传动系统中所储存的机械能经电动机转换成电能,通过逆变器的 6 个续流二极管回馈到变频器的中间直流回路中。此时的逆变器处于整流状态,如果变频器中没采取消耗这些能量的措施,这些能量将会导致中间直流回路的电容器的电压上升,达到限值即行跳闸。

变频器负载侧可能引起过压的情况及主要原因如下。

① 变频器减速时间参数设定相对较小及未使用变频器减速过压自处理功能。当变频器拖动大惯性负载时,其减速时间设定得比较小,在减速过程中,变频器输出频率下降的速度比较快,而负载惯性比较大,靠本身阻力减速比较慢,使负载拖动电动机的转速比变频器输出的频率所对应的转速还要高,电动机处于发电状态,而变频器没有能量处理单元或其作用有限,因而导致变频器中间直流回路电压升高,超出保护值,就会出现过压跳闸故障。

大多数变频器为了避免跳闸,专门设置了减速过压的自处理功能。如果在减速过程中,直流电压超过了设定的电压上限值,变频器的输出频率将不再下降,暂缓减速,待直流



电压下降到设定值以下后再继续减速。如果减速时间设定不合适,又没有利用减速过压的自处理功能,就可能出现此类故障。

② 工艺要求在限定时间内减速至规定频率或停止运行。工艺流程限定了负载的减速时间,合理设定相关参数也不能减缓这一故障,系统也没有采取处理多余能量的措施,必然会引发过压跳闸故障。

③ 当电动机所传动的位能负载下放时,电动机将处于再生发电制动状态。位能负载下降过快,过多回馈能量超过中间直流回路及其能量处理单元的承受能力,过压故障也会发生。

④ 变频器负载突降。变频器负载突降会使负载的转速明显上升,使负载电动机进入再生发电状态,从负载侧向变频器中间直流回路回馈能量,短时间内能量的集中回馈,可能会因中间直流回路及其能量处理单元的承受能力引发过压故障。

⑤ 多个电动机拖动同一个负载时,也可能出现这一故障,主要是由于没有负荷分配引起的。以两台电动机拖动一个负载为例,当一台电动机的实际转速大于另一台电动机的同步转速时,则转速高的电动机相当于原动机,转速低的处于发电状态,引起了过压故障。处理时需加负荷分配控制。可以把变频器输出特性曲线调节得软一些。

⑥ 变频器中间直流回路电容容量下降。变频器在运行多年后,中间直流回路电容容量下降将不可避免,中间直流回路对直流电压的调节程度减弱,在工艺状况和设定参数未曾改变的情况下,发生变频器过压跳闸概率会增大,这时需要对中间直流回路电容容量下降情况进行检查。

#### 4. 过压故障处理对策

对于过压故障的处理,关键一是中间直流回路多余能量如何及时处理;二是如何避免或减少多余能量向中间直流回路馈送,使其过压的程度限定在允许的限值之内。

下面是主要的对策。

(1) 在电源输入侧增加吸收装置,减少过压因素。在电源输入侧有冲击过压、雷电引起的过压、补偿电容在合闸或断开时形成的过压可能发生的情况下,可以采用在输入侧并联浪涌吸收装置或串联电抗器等方法加以解决。

(2) 从变频器已设定的参数中寻找解决办法。在变频器可设定的参数中主要有两点:

① 减速时间参数和变频器减速过压自处理功能。在工艺流程中如不限定负载减速时间,则变频器减速时间参数的设定不要太短,而使得负载动能释放得太快,该参数的设定要以不引起中间回路过压为限,特别要注意负载惯性较大时该参数的设定。如果工艺流程对负载减速时间有限制,而在限定时间内变频器出现过压跳闸现象,就要设定变频器失速自整定功能或先设定变频器不过压情况下可减至的频率值,暂缓后减速至零,减缓频率减小的速度。

② 中间直流回路过压倍数。

- 采用增加制动电阻的方法

一般小于 22kW 的变频器在出厂时内部中间直流回路均装有制动单元和制动电阻



(如图 4.27 所示),大于 22kW 的变频器需根据实际情况外加制动单元和制动电阻,为中间直流回路多余能量释放提供通道,是一种常用的泄放能量的方法。其不足之处是能耗高,可能出现频繁投切或长时间投运,致使电阻温度升高,设备损坏。

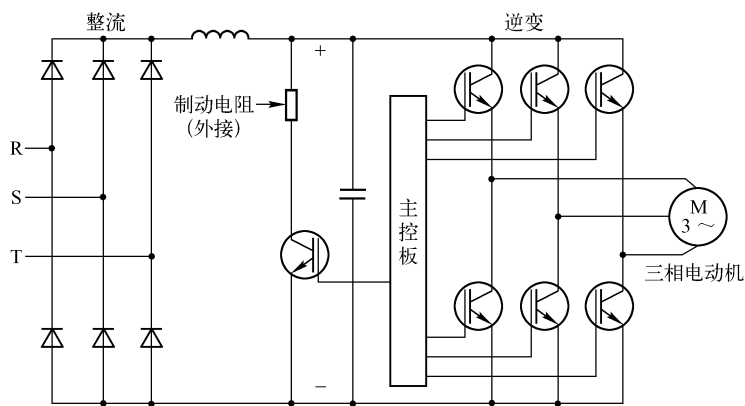


图 4.27 增加制动电阻的方法

- 在输入侧增加逆变电路的方法

处理变频器中间直流回路能量最好的方法就是在输入侧增加逆变电路,可以将多余的能量回馈给电网。但逆变桥价格昂贵,技术要求复杂,不是较经济的方法。这样在实际中就限制了它的应用,只有在较高级的场合才使用。

- 采用在中间直流回路上增加适当电容的方法

中间直流回路电容对其电压稳定,提高回路承受过压的能力起着非常重要的作用。适当增大回路的电容量或及时更换运行时间过长且容量下降的电容器是解决变频器过压的有效方法。这里还包括在设计阶段选用较大容量的变频器的方法,以增大变频器容量的方法来换取过压能力的提高。

- 在条件允许的情况下适当降低工频电源电压

目前变频器电源侧一般采用不可控整流桥,电源电压高,中间直流回路电压也高,电源电压为 380V、400V、450V 时,直流回路电压分别为 537V、565V、636V。有的变频器距离变压器很近,变频器输入电压高达 400V 以上,对变频器中间直流回路承受过压能力影响很大。在这种情况下,如果条件允许,可以将变压器的分接开关放置在低压挡,通过适当降低电源电压的方式,达到相对提高变频器过压能力的目的。

- 多台变频器共用直流母线的方法

至少两台同时运行的变频器共用直流母线可以很好地解决变频器中间直流回路过压问题,因为任何一台变频器从直流母线上取用的电流一般均大于同时间从外部馈入的多余电流,这样就可以基本上保持共用直流母线的电压,相关问题会在项目 5 中进行介绍。

使用共用直流母线存在的最大问题应是共用直流母线保护上的问题,在利用共用直流母线解决过压的问题时应注意这一点。





## 思考与练习

习题 4.1 根据本项目的知识讲座和技能训练,并结合网络搜索来回答以下问题。

- (1) 电动机模型和参数辨识有什么重要性?
- (2) 如果是采用国产 Y2 系列电动机,该如何进行辨识?
- (3) 开环矢量控制的原理是什么?
- (4) HNC-21 与变频器进行连接主要的接口是哪些?
- (5) 主轴控制的变频器要不要增设制动电阻?为什么?

习题 4.2 请阐述变频直流制动、能耗制动和回馈制动的定义,并比较它们之间的区别。以三菱 A700 变频器为例设置直流制动参数。

习题 4.3 图 4.28 所示为某进口电动机的铭牌参数,请使用三菱 A700 进行电动机参数调谐,如何设置参数?并描述电动机调谐步骤。

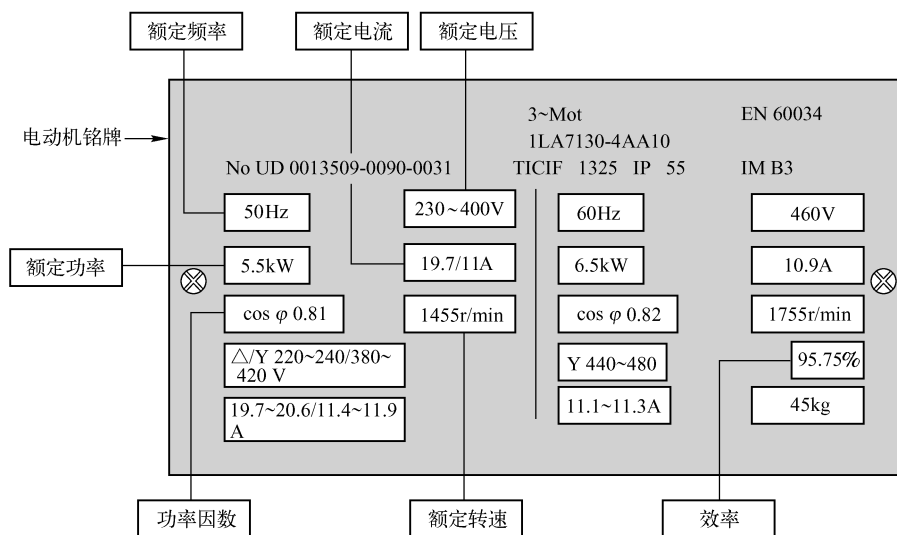


图 4.28 某进口电动机的铭牌参数

习题 4.4 某离心机厂的离心机选用某通用型变频器 15kW (如图 4.29 所示),在调试时,变频器总是在减速过程中报减速过压故障,会有哪些原因造成该故障?该如何解决?

习题 4.5 某化工厂离心风机 15kW/2 极,额定转速 2 950r/min,采用变频器带动(如图 4.30 所示)。变频器带电动机空载运行,经常会出现运行到 12Hz 左右时,输出频率在此附近振荡,振荡几次后有时频率会继续上升,有时就报过载故障,但有时启动又能正常。请回答可能出现哪几种情况导致该故障的发生。

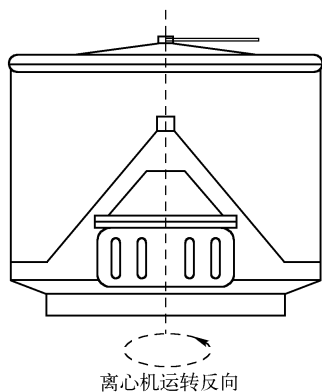


图 4.29 离心机外观

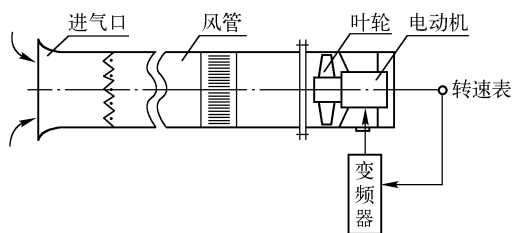


图 4.30 离心风机变频控制

习题 4.6 某数控机床中,主轴控制装置采用三菱 A700 变频器来控制交流主轴电动机。在运行过程中,变频器报 E. LF 故障,有时可复位,但复位后电动机发出“嗡嗡”声,旋转无力。请根据用户说明书手册,列举几个可能出现的原因。

习题 4.7 在开环矢量控制中,变频器的输出频率一直在变化,这是为什么?而  $V/f$  控制的变频器输出频率基本没有变化,是不是开环矢量控制效果比较差?

习题 4.8 对于低速大转矩启动负载(如搅拌机、钢铁的轧机、塑料挤出机等),使用开环矢量控制或采用  $V/f$  控制的转矩补偿都可以起到类似的作用,两者的工作原理一样吗?为什么?

# 变频多传动在卧螺离心机上的应用

现代工业生产中,多台电动机的交流调速系统应用日益广泛,例如冶金工业、机械制造工业、纺织工业、运输业等部门的许多生产设备,要求多台电动机之间按照一定的控制规律快速而协调地运行,多台电动机控制系统性能的好坏直接影响生产能否正常进行和产品质量是否符合要求,为此,对多台电动机的交流调速系统进行研究具有重要意义。本项目详细介绍了共母线双电动机双变频器驱动在卧螺离心机上广泛应用,即主、副电动机各用一台普通变频器驱动,其直流母线用适当的方式并接,较好地解决了这个问题。

本项目的学习目标如下。



### 知识目标

了解多传动变频器的控制规律;熟悉变频能量的回馈过程;掌握卧螺离心机双变频的基本组成及工作原理;掌握共母线方式的基本构建;掌握通信的概念。



### 技能目标

能对多传动变频器进行简单接线,设定参数与调试;能熟练掌握A700变频器的共直流母线方式一和方式二;能进行变频器速度设定通信控制。



### 职业素养目标

树立多传动概念,掌握多传动对变频器提出的一些高新技术问题的解决思路。



## 5.1 项目背景及要求

### 5.1.1 项目背景

分离机械是将液体与固体颗粒混合物进行分离的设备,主要分为离心机、分离机、压滤机、滤油器、过滤器等设备。分离机械一般是工艺流程中的后处理设备,所以直接关系到最终产品的质量。

图 5.1 所示是一种 LW 卧式螺旋卸料沉降离心机,又称卧螺离心机,它是一种使用面很广的离心机,主要用于获得较干的滤饼(固相脱液)或较清的分液(液相澄清)。它既可以用于分离含固相颗粒 $\geq 0.005\text{mm}$  的悬浮液,也可用于固相颗粒的分级,更适用于分离对滤布再生有困难的物料,以及浓度、颗粒度变化范围较大的悬浮液,滤饼亦可洗涤。这种离心机不适合于固相比重差很小或液相比重大于固相的悬浮液分离。该机具有连续操作,处理量大,电耗低的特点,被广泛用于化工、食品、环保、轻工、采矿等工业部门,如聚氯乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯、淀粉、碳酸钙、尾煤分离、动植物油脂净化、工业污水和城市生活污水的处理等。

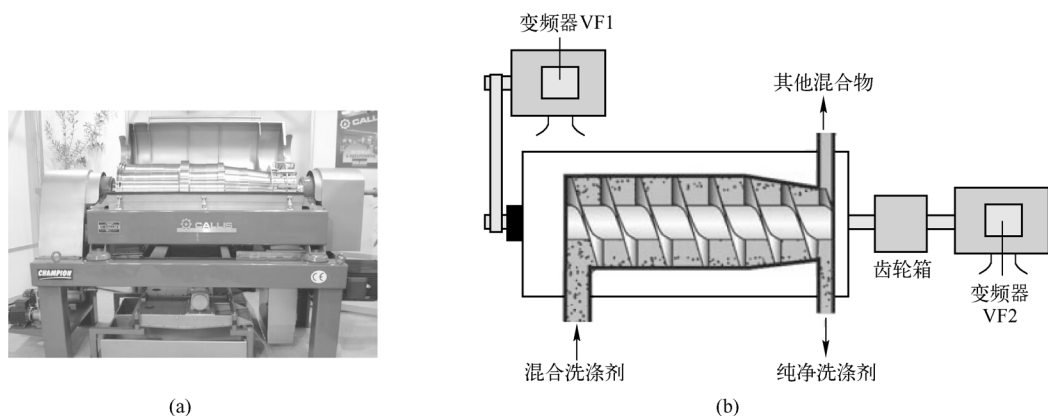


图 5.1 卧螺离心机示意图

### 5.1.2 控制要求

卧螺离心机的配置为 VF1 为 22kW, VF2 为 5.5kW, 电动机均为 2 极, 现提出如下要求。

(1) VF1 运行速度为 2 450r/min, VF2 运行速度为 2 400r/min, 速差为 50r/min, 保证启动与停止过程中都保持恒定速度;

(2) 在正常运行过程中, VF1 处于电动状态, VF2 处于发电传动状态, 但是 VF2 不能



采用能耗制动;

(3) VF2 具备转矩控制功能,能处理突发事件造成的转鼓内物料的堆积;

(4) 同时设计另外一种能够用上位机的 RS485 串口进行控制的硬件系统,并进行参数设置。

## 5.2 知识讲座:多传动变频的组成与通信

### 5.2.1 共用直流母线方式的回馈制动

对于频繁启动、制动,或是四象限运行的电动机而言,如何处理制动过程不仅影响系统的动态响应,而且还有经济效益的问题。于是,回馈制动成为人们讨论的焦点,然而在目前大部分的通用变频器还不能通过单独的一台变频器来实现再生能量的情况下,如何用最简单的办法来实现回馈制动呢?

为解决以上问题,这里介绍了一种共用直流母线方式的再生能量回馈系统,通过这种方式,可以将制动产生的再生能量进行充分利用,从而起到既节约电能又处理再生电能的功效。

#### 1. 工作原理

我们知道通常意义上的异步电动机多传动包括整流桥、直流母线供电回路、若干个逆变器,其中电动机需要的能量是以直流方式通过 PWM 逆变器输出的。在多传动方式下,制动时感生能量就反馈到直流回路。通过直流回路,这部分反馈能量就可以消耗在其他处在电动状态的电动机上,制动要求特别高时,只需要在共用母线上并上一个共用制动单元即可。

图 5.2 所示接线是典型的共用直流母线的制动方式,M1 处于电动状态,M2 经常处于发电状态,三相交流电源 380V 接到 VF1 上。

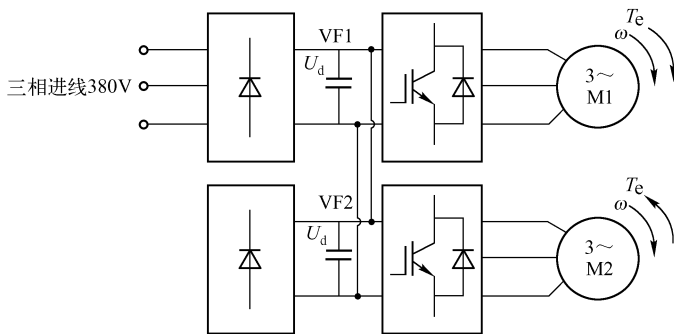


图 5.2 共用直流母线的回馈制动方式

处于电动状态的电动机 M1 上的变频器 VF1, VF2 通过共用直流母线方式与 VF1 的母线相连。在此种方式下, VF2 仅作为逆变器使用, M2 处于电动状态时,所需能量由交流



电网通过 VF1 的整流桥获得;M2 处于发电状态时,反馈能量通过直流母线由 M2 的电动状态消耗。

## 2. 应用范围

共用直流母线的制动方式可典型应用于造纸机械、印刷机械、离心分离机以及系统驱动等。在这些应用中,有一个共同的特点,即处于发电状态的 M2 的容量远远小于处于电动状态的 M1 的容量,而且当 M1 的电动状态停止时(变频器 VF1 待机),M2 的发电状态随即转为电动状态。这样,直流母线电压就不会快速升高,系统始终处于比较稳定的状态。

这里以离心机为例进行应用说明。过滤式螺旋卸料离心机在全速下连续进料、连续卸料,自动完成进料、分离、洗涤、卸料等工序。离心机的核心是过滤型转鼓,利用主机和副机的差转速来控制卸料速度,并实现无人安全操作。在处理过程中,主机始终处于电动状态,而副机则由于转速差的作用,基本上处于发电状态。主机和副机功率通常为 22kW 和 5.5kW、30kW 和 7.5kW、45kW 和 11kW 等 4:1 匹配,符合本节阐述的工作方式。考虑到副机供电也是由主机变频器的整流桥提供的,因此必须考虑到 VF1 的整流桥的额定电流(不同的变频器厂商其整流桥规格不一样),以此来决定 VF1 的选型。VF2 的选型必须考虑到能够屏蔽输入缺相功能的变频器。应用本制动方式后,离心机不仅效率提高,而且节能效果好,运行平稳,维护简单。

## 3. 制动特点

采用共用直流母线的制动方式,具有以下显著的特点。

(1) 共用直流母线和共用制动单元,可以大大减少整流器和制动单元的重复配置,结构简单合理,经济可靠。

(2) 共用直流母线的中间直流电压恒定,电容并联储能容量大。

(3) 各电动机工作在不同状态下,能量回馈互补,优化了系统的动态特性。

(4) 提高系统功率因数,降低电网谐波电流,提高系统用电效率。

## 5.2.2 变频器回馈制动的原理

事实上,从变频器内部研究和设计的方面看,应用或寻求哪一种控制策略可以使变频驱动电动机的损耗最小而效率最高?怎样才能使生产机械储存的能量及时高效地回馈到电网?这正是提高效率的两个重要途径。第一个环节通过变频调速技术及其优化控制技术实现“按需供能”,即在满足生产机械速度、转矩和动态响应要求的前提下,尽量减少变频装置的输入能量;第二个环节将由生产机械中储存的动能或势能转换而来的电能及时、高效地“回收”到电网,即通过有源逆变装置将再生能量回馈到交流电网,一方面节能降耗,另一方面可实现电动机的精密制动,提高电动机的动态性能。这里讨论的就是变频调速系统节能控制的第二个环节——变频调速能量回馈控制技术。在能源、资源日趋紧张的今天,这项研究无疑具有十分重要的现实意义。



## 1. 双 PWM 形式

(1) PWM 回馈原理。双 PWM 控制技术打破了过去变频器的统一结构,采用 PWM 整流器和 PWM 逆变器提高了系统功率因数,并且实现了电动机的四象限运行,这给变频器技术增添了新的生机,形成了高质量能量回馈技术的最新发展动态。

图 5.3 所示为采用 PWM 整流的电压型变频器的系统构成图。它的主回路是普通的三相桥式电路,在电源输入侧接有滤波电感,以便使输入电流为正弦形。采用直流电压、输入电流双闭环控制。电流控制常采用追踪方式 PWM,直流电压的控制采用比例积分 PI 控制。通过追踪式 PWM 技术,使用具有滞环比较器,使得实际电流锯齿状地追踪设定电流的变化。设定电流的波形是电源电压波形,为正弦形,其相位和电源电压同相位,同时相位也可以视需要而调整。设定电流的大小由直流电压调节器决定。直流电压调节器的输入为直流电压的误差信号,即直流电压的设定值和检测值之差。采用 PI 控制可以实现直流电压的无静差。

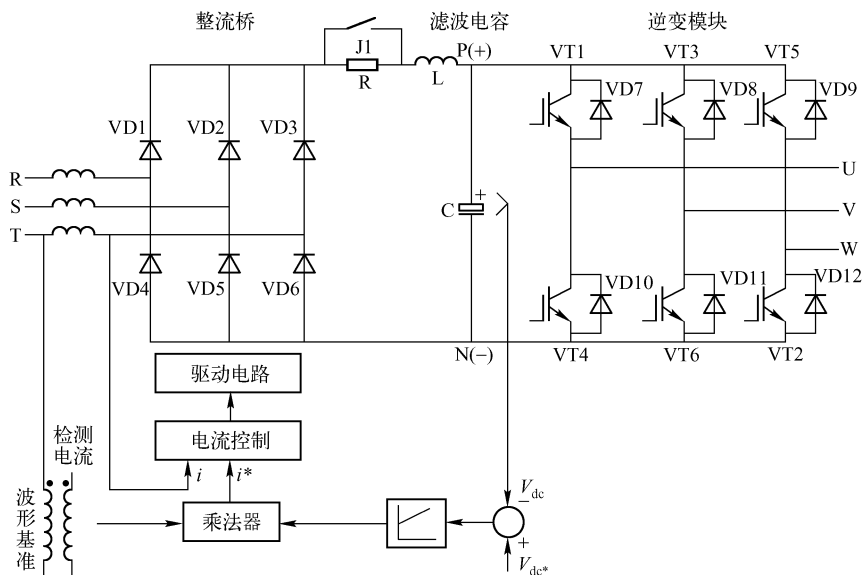


图 5.3 双 PWM 控制的变频器构成图

(2) 双 PWM 回馈形式一。Vacon 公司的 CXR 系列变频器就采用双 PWM 的结构,能广泛应用于离心分离机、倾倒装置、起重机、重载传送装置等需要四象限运行的场合,如图 5.4 所示为 CXR 配置方案和波形图。

Vacon CXR 专为需要连续制动的场合开发。CXR 产生的再生能量是无谐波的,可以被回馈给电源。它可以有效地补偿电源的功率因数。Vacon CXR 由两个同样(尺寸)的单元 CXI 组成,其中一个连接到电动机,另一个通过滤波器连接到电源。Vacon CXI 是一种以 CX 为基础的直流供电的 PWM 逆变器,它不包含整流桥。滤波器由 LCL 形成。两个 CXI 单元的直流回路相连。控制电动机的单元与 Vacon CX 相同,其功能为:相同的控制面板、I/O 连接和电动机控制。

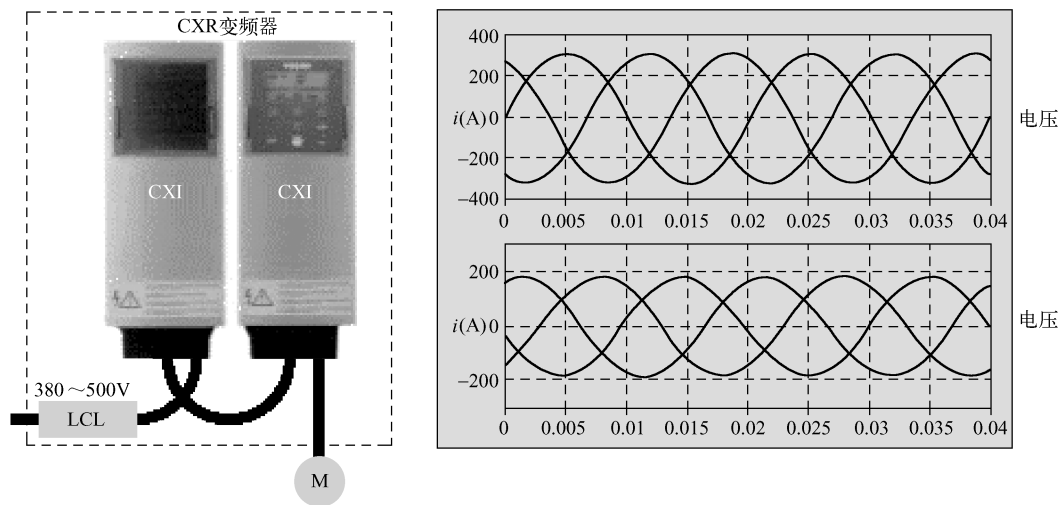


图 5.4 Vacon CXR 配置方案和波形图

(3) 双 PWM 回馈形式二。为了解决电动机处于再生发电状态产生的再生能量，ABB、西门子公司已经推出了电动机四象限运行的双 PWM 型电压源交 - 直 - 交变频器。图 5.5 所示为 ABB 公司的 ACS611 系列四象限变频器示意图。

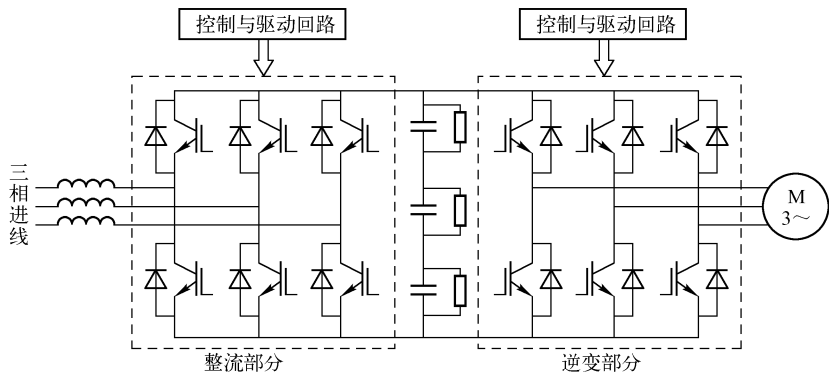


图 5.5 ACS611 系列四象限变频器示意图

2. 能量回馈单元

能量回馈单元的作用,就是取代原有的能耗电阻式制动单元,消除发热源,改善现场电气环境,可减小高温对控制系统等部件的不良影响,延长生产设备的使用寿命。同时由于能量回馈单元能有效地将变频器电容中储存的电能回送给交流电网,供周边其他用电设备使用,因而可节约生产用电,一般节电率可达 20% ~ 40% 左右。

能量回馈单元已经有非常成熟的产品,如安川公司的 VS-656RC5、日本富士公司的 RHR 系列和 FRENIC 系列电源再生单元,它把有源逆变单元从变频器中分离出来,直接作为变频器的一个外围装置,可并联到变频器的直流侧,将再生能量回馈到电网中。





能量回馈单元是带有再生功能和制动功能的能量回馈单元,与变频器配合使用,可以发挥出超群的节能效果。与制动电阻单元相比,VS-656RC5 不仅节省空间,而且其制动效果更加明显。VS-656RC5 的典型应用是在起重机、升降机、电梯、离心机、卷绕机等大功率反馈负载。

能量反馈单元具有如下特点。

(1) 降低运行成本,包括减少电能损耗,提高功率因数,改善电网运行质量等。

(2) 提高制动能力,如果以传统的标准制动电阻器与变频器组合,制动力矩大约为 120% 额定力矩/10s,10% ED;而 VS-656RC5 与变频器组合,制动转矩则提高到 150% 额定转矩/30s 或 100% 额定转矩/1min(25% ED)或 80% 额定转矩/连续再生。

能量回馈单元的接线如图 5.6 所示。

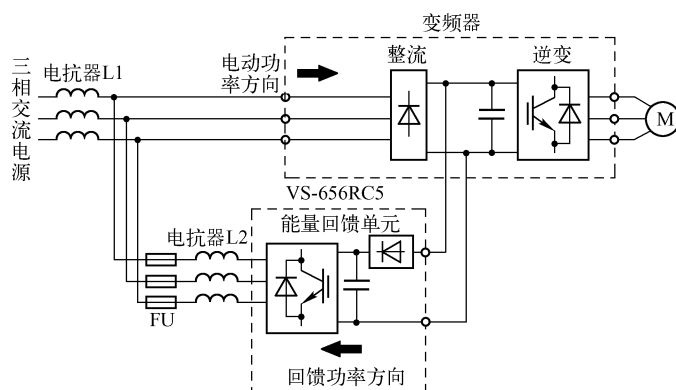


图 5.6 能量回馈单元接线

图 5.6 中,电抗器 L1 的作用是协调电源,而电抗器 L2 的作用则是抑制电流。当电动机处于电动状态时,电动功率方向是从三相电源经变频器的整流桥流出的;当电动机处于发电状态时,发电功率方向则是从变频器的中间回路经能量回馈单元流向三相电源的。

### 5.2.3 卧螺离心机电气控制结构

#### 1. 结构概述

卧螺离心机用双电动机驱动(如图 5.2 所示),早在 20 世纪 60 年代已应用于实验室,判断主、副电动机工作状态的方法是:与主动件相连的电动机处于电动机工作状态,与从动件相连的电动机处于发电电动机状态。

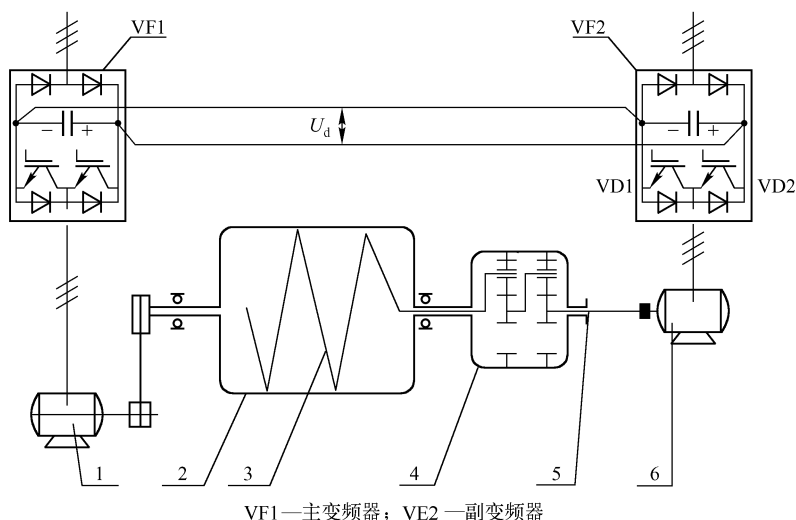
因此,卧螺离心机中主电动机处于电动机状态,副电动机处于发电电动机状态。但这种传动方式几十年来没有在工业上获得广泛应用,究其原因,关键在于副电动机再生的电能当初的技术条件下不能合理利用。

一种方法是用普通变频器驱动副电动机,再生能量以热能的形式消耗在制动电阻上。另一种方法是使用带有能量回馈单元的专用变频器驱动,可将再生的电能回送到交流电



网,如富士公司的 RHR 系列能量回馈装置,ABB 公司的 ACS611/811 系列变频器,但价格贵,只在少数场合获得应用(如轧钢、矿山)。

随着电力电子技术的快速发展,近年来变频器的性能价格比大大提高,共母线双电动机双变频器驱动在卧螺离心机上广泛应用,即主、副电动机各用一台普通变频器驱动,其直流母线用适当的方式并接,较好地解决了这个问题,在能源日益紧缺的今天,有特别重要的意义。卧螺离心机变频控制如图 5.7 所示。



1—主电动机;2—转鼓;3—螺旋;4—差速器;5—差速器小轴;6—副电动机

图 5.7 卧螺离心机变频控制

## 2. 工作过程

由电动机学知道,电动机处于再生制动状态的基本特征是:电动机的转子转速超过同步转速( $n > n_0$ ),并且二者方向相同。工作点沿着机械特性曲线从第1象限向第2象限移动,这时,电动机产生的电磁力矩的方向和转子转向相反。图 5.8 中,A 点对应的电磁力矩  $T_L$  是制动力矩,用来使离心机螺旋产生足够的推料力矩,其大小是螺旋推料力矩的  $i$  分之一( $i$  是差速器速比)。

电磁转矩只和主磁通  $\Phi_M$  与转子电流有功分量  $I_2 \cos \varphi_2$  的乘积成正比,即

$$T_M = K_T \Phi_M B I_2 \cos \varphi_2$$

回馈到电网的定子电流有功分量经图 5.7 中 VD1、VD2 全波整流,加到直流母线上,由于主、副变频器的母线并接,该能量就被主电动机利用,使母线电压  $U_d$  维持在 610V 以内。共母线双电动机双变频节能建立在此基础上。

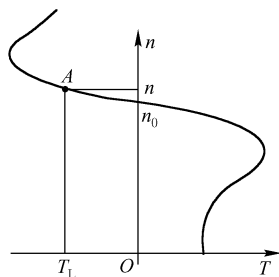


图 5.8 离心机的机械特性曲线



### 3. 差转速的调节

由于螺旋担负着将沉积在转鼓内壁的干泥推出转鼓的使命,因此,差转速的快慢直接影响到离心机的产量和分离效果。差转速按下式计算。

$$\Delta n = (n_{\text{鼓}} - n_{\text{臂}}) / i$$

式中  $\Delta n$ ——差转速(r/min);

$n_{\text{鼓}}$ ——转鼓转速(r/min);

$n_{\text{臂}}$ ——差速器小轴转速(r/min);

$i$ ——差速器速比。

由上式可以看出,由于转鼓转速和差速器速比一般固定不变,因此,调节转臂转速即可调节差转速。

差转速的调节是通过改变副变频器输出频率实现的。调节过程如下。

若要减小差速,则增加输出频率,在频率刚刚增加的瞬间,由于机械惯性的原因,转速不可能突变,但机械特性已由曲线①变为曲线②(如图 5.9(a) 所示),工作点由 A 点跳到 B 点,由于 B 点制动转矩小于 A 点,电动机加速,工作点沿着曲线②向左移动,在 C 点,力矩重新达到平衡,电动机稳定运行在升高的转速上。图 5.9(a) 中有阴影区域是过渡过程。增加差速的过程见图 5.9(b)。

不难看出,当调速范围较大时,副电动机短期将运行于电动机状态。

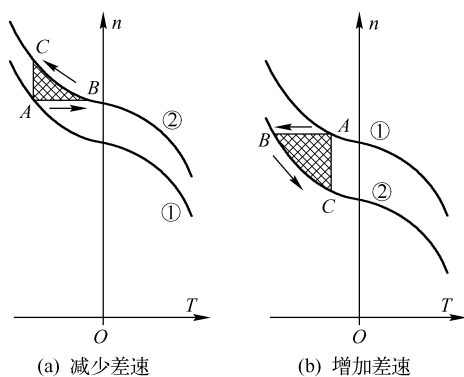


图 5.9 差转速的调节

## 5.2.4 离心机双变频系统的模型分析

### 1. 离心机双变频模型

图 5.10 所示为离心机双变频共直流母线方式的配置方案。在共直流母线中,整流器前端回路可以有不同的组成方式,预充电回路的控制方案也有差异,这两者通过直流熔丝与直流电解电容两端连接,因此是共直流母线方式中最不可忽略的关键因素。

交流变频器的整流回路可以是二极管,也可以是晶闸管,如图 5.11 所示。在二极管



整流器前端回路中,根据预充电方式还有两种,即串接在电容组上,如图 5.11(a)所示;也可以串接在母线上,如图 5.11(b)所示。而在晶闸管整流前端回路中,其预充电是在一定的时间中通过逐步改变晶闸管的触发角(从  $180^\circ$  到  $0^\circ$ )来实现的,如图 5.11(c)所示。

因此,当不同类型的交流变频器通过共直流母线互相连接到一起的时候,由于预充电控制的不协调性和整流回路的配置不同,将会大大降低系统的可靠性,而且在变频器预充电、电动机电动或电动机发电状态时,不同变频器之间还有相互反作用。

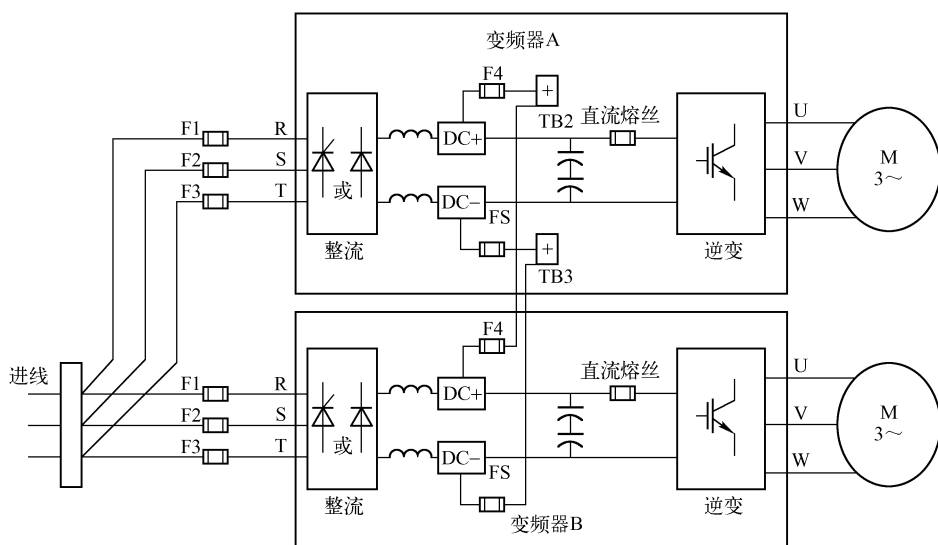


图 5.10 两台交流变频器的共直流母线方式配置方案

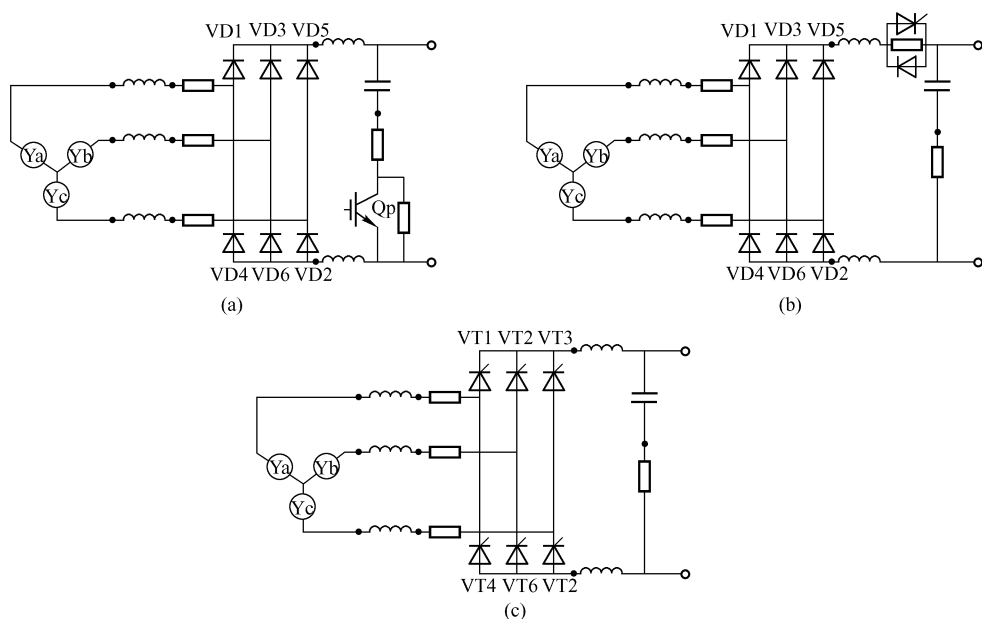


图 5.11 带预充电回路的整流器前端模型



基于上述因素,要为交流变频器共直流母线方案制定一个统一的通用指导方案将会变得十分困难,而去分析和研究在不同运行模式下可能产生的电流等级将变得十分有必要。因为有了模型分析产生的数据之后,才能针对不同的共母线方案选择合适的部件、合适的母线连接方式,否则将会面临整个系统不稳定因素的干扰,交流变频器的损坏等现象。

## 2. 整流前端和预充电回路的波形

在二极管整流回路中,预充电控制可以通过使用一个可控的电压开关来进行模拟,而晶闸管整流回路则可以通过改变晶闸管的开关脉冲来实现。由于交流变频器的前端压降和其他固有特性将对共直流母线方案中的电流回路和幅值起到支配性的影响,所以有必要对交流变频器的主回路前端整流回路建立一个精确的模型,这样才能准确地反映实际工作情况。

在一个共直流母线系统中,除了图 5.11(a)和图 5.11(c)外,其他不同功率段和不同品牌的交流变频器都可以任意互相连接,尽管它们之间的预充电策略和预充电时间间隔会有所不同。而在带晶闸管整流回路中,其预充电波形将会难免产生电流浪涌。

图 5.12 和图 5.13 所示为二极管整流回路和晶闸管整流回路的典型预充电波形曲线。在图 5.12 中,发生在接近末端的电流脉冲是由于预充电回路电阻切断的瞬间所致的。

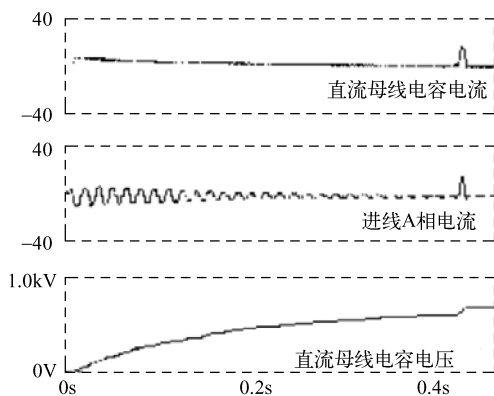
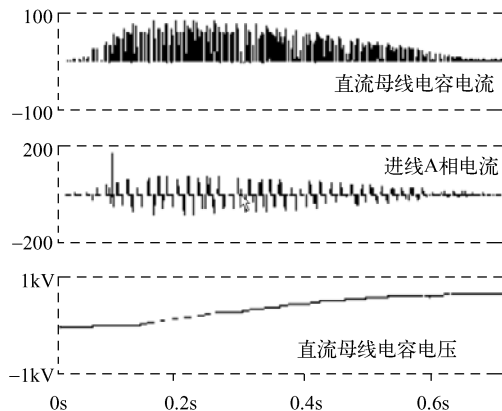


图 5.12 二极管整流回路的典型预充电波形曲线



5.13 晶闸管整流回路的典型预充电波形曲线



### 3. 带二极管整流回路的 5.5kW 和 90kW 交流变频器并列运行分析

(1) 分析预充电过程。交流变频器处于共直流母线的并列运行中时,每台变频器由于自身的充电时间不同,将导致不同的充电状态,因此必须对此进行分析以确保并列运行中小容量变频器的整流二极管和充电电容的电流有效值不能超过额定值,同时需测定最大的母线熔丝电流值以及有可能存在的变频器环路电流值。

图 5.14 所示为两变频器并联后的直流母线电压、母线熔丝电流和直流电容电流。图 5.15 所示为两并列变频器的进线 A 相线电流,从图中可以看出小容量变频器 5.5kW 的线电流在共母线后的电流有显著的增加。从图 5.16 中可以看出不同的预充电时间将对两直流母线回路的直流电压差、直流熔丝电流产生很大的影响,尤其是在直流熔丝中将产生两个电流浪涌,同时小容量变频器 5.5kW 的直流电容将产生纹波电流。电流浪涌的产生是由于预充电时的两次瞬变切换所造成的,其浪涌幅值将比各自变频器在独自预充电时要大得多。如果多台并联变频器具有同一种预充电时间,则电流浪涌将会更大,这是因为这些变频器在同一时间进行瞬变切换。如果多台并联变频器具有不同的预充电时间,则电流浪涌会发生在每一台变频器的预充电时间切换点,直至所有的变频器都预充电结束。

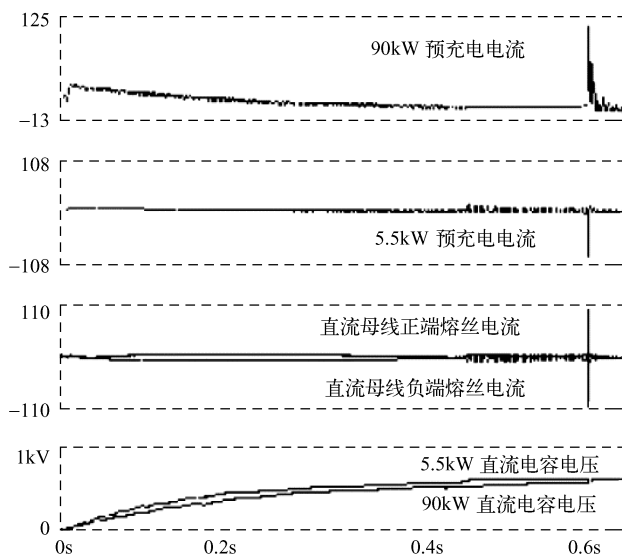


图 5.14 两变频器并联后的直流母线电压、母线熔丝电流和直流电容电流

在不同变频器并联方案中,如果频繁上电,其预充电回路的累积效果就会造成小容量变频器直流电解电容的额外发热,整流二极管过电流等不利情况。在模拟试验中,电流浪涌有一个幅值达 106A 的尖峰和大约 3ms 的持续时间,因此母线熔丝的额定电流应该要与之匹配( $I^2t$ ),否则就会造成预充电失败。

在表 5.1 中,将预充电回路进行定量比较,即比较两台交流变频器 5.5kW 和 90kW 在单独上电和共直流母线方案(并列运行)下的不同电流有效值。对于小容量的交流变



频器 5.5kW 而言,在并列运行方式下比单独上电整流二极管上流过的电流达到了 100% 的增加,在直流电容上的电流则增加了 26% 左右。相反,对于大容量的交流变频器 90kW 来说,二极管整流电流和电容直流电流却下降了 24% 和 19%。

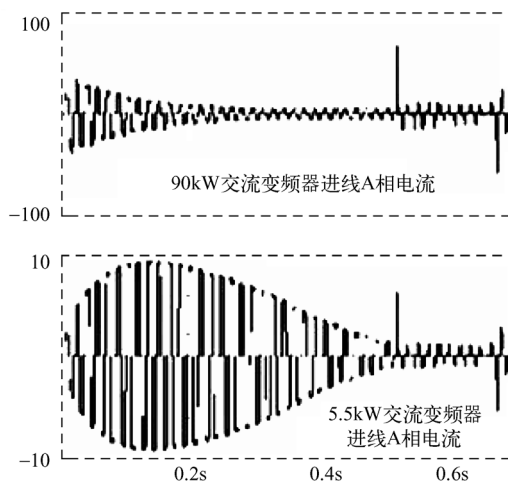


图 5.15 两并列变频器的 A 相线电流

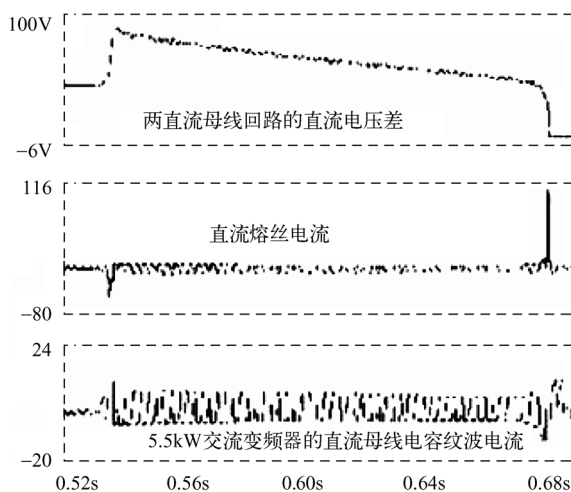


图 5.16 不同预充电时间的影响

表 5.1 预充电回路电流比较

配置情况		二极管整流电流 $I_d$ (RMS)	电容直流电流 $I_c$ (RMS)
单独	5.5kW	2.66A	4.20A
	90kW	13.63A	17.56A
并列	5.5kW	5.20A	5.30A
	90kW	10.34A	14.22A



在本次分析中,尽管对于小容量变频器来说,其电流的增加值还在其额定范围内,但随着并列方式的复杂性增大(如共直流母线的交流变频器数量增多或并列的交流变频器容量更大),这些数据都将会被重新改写,甚至超出额定值。

(2) 分析电动和发电状态。图 5.17 和图 5.18 所示是变频器逆变回路和异步电动机的模型结构,这个模型结构对于分析电动机处于电动和发电状态是非常有效的。

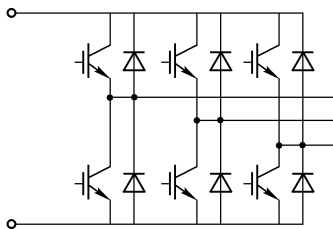


图 5.17 PWM 变频器逆变回路模型

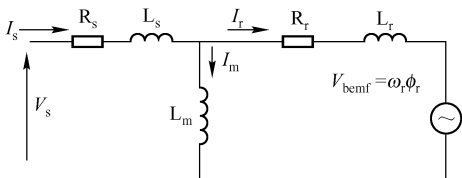


图 5.18 异步电动机模型

采用与交流变频器同等功率的交流异步电动机进行拖动,这里我们将分析两种情况:

- (1) 两者都处于电动状态;
- (2) 90kW 电动机处于发电状态,而 5.5kW 电动机处于电动状态。

图 5.19 所示为 5.5kW 变频器电流和正端熔丝电流,图 5.20 所示则为 90kW 变频器电流和负端熔丝电流。

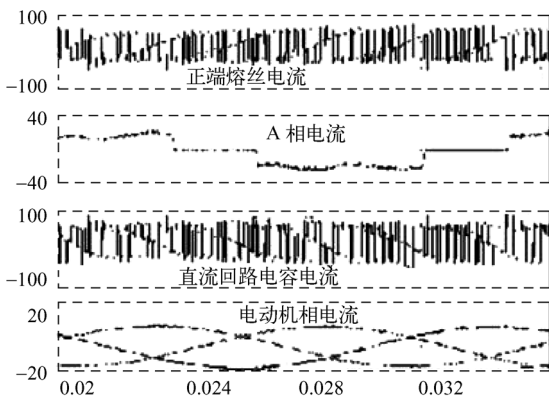


图 5.19 5.5kW 变频器电流和正端熔丝电流

表 5.2 中列出的数据是在不同运行模式下变频器的电动机电流、电容直流电流、二极管整流电流和直流熔丝电流,其中包括单独电动、并列电动、并列小容量电动和大容量发电等模式。很明显,小容量 5.5kW 变频器的直流母线电容电流  $I_c$  在并列模式下两种情况都增长过快(分别为 43.75A 和 44.44A),甚至超过额定范围,这将导致直流熔丝电流  $I_{fuse}$  会居高不下。解决该问题的办法首推背对背的二极管母线连接方式,如图 5.21 所示,即在直流母线的正端和负端都跨接一对背对背二极管组(图 5.21 中的 VD1 和 VD2、VD3 和 VD4)。这种背对背并列方式将大幅度降低电容直流电流的电流等级,无论在何种方式下(电动或发电),如本例中,下降的幅度如表 5.2 所示,电容直流电流从 43A 左右降至





16.88A,而直流熔丝电流则降至11.11A。

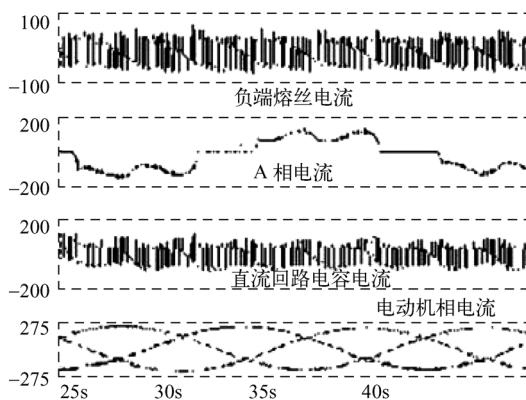


图 5.20 90kW 变频器电流和负端熔丝电流

表 5.2 不同运行模式下的电流值

配置情况		电动机电流 $I_m$ (RMS)	电容直流电流 $I_c$ (RMS)	二极管整流电流 $I_d$ (RMS)	直流熔丝电流 $I_{fuse}$ (RMS)
单独	5.5kW 电动	12.42A	—	7.5A	—
	90kW 电动	165.4A	90.65A	100A	—
并列	5.5kW 电动	12.42A	43.75A	13.75A	36A
	90kW 电动	165.4A	78.13A	106.25A	36A
并列	5.5kW 电动	12.42A	44.44A	0	44A
	90kW 发电	165.4A	84.44A	0	44A
背对背 并列	5.5kW 电动	12.57A	16.88A	11.55A	11.11A
	90kW 电动	167A	97A	100A	11.11A

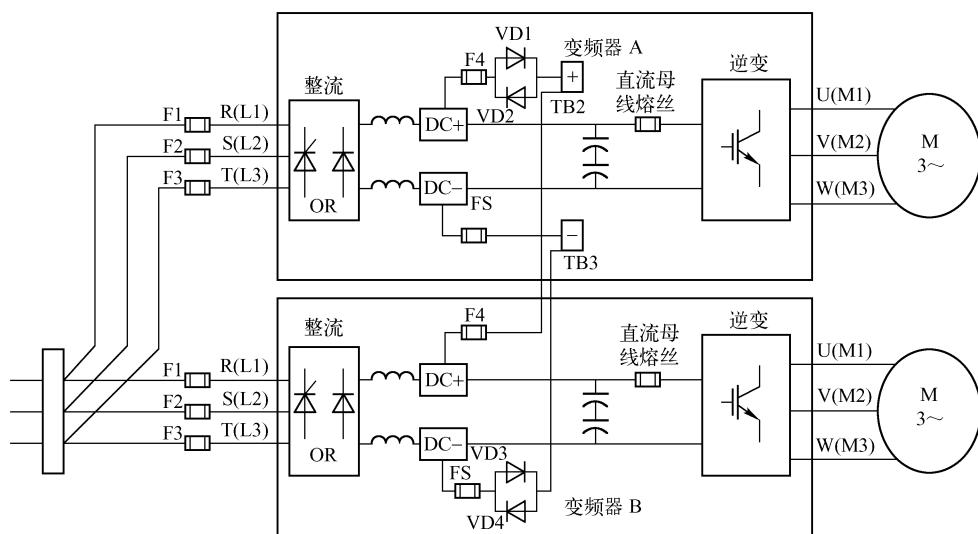


图 5.21 共直流母线模式下的背对背二极管连接方式



### 5.2.5 变频器共直流母线方案的应用

上面的研究结论将不仅仅限于对两台变频器共直流母线并联的分析,对于三台或三台以上的并联方式也可由之引申。共直流母线方式是交流变频器在现代工业中非常受欢迎的一种应用方案,它具有节约成本,节省安装空间和更高的运行可靠性。但是由于交流变频器整流部分的多样性导致并联的先天性不足,无论在预充电还是电动机处于电动和发电状态时,变频器的整流部分都有可能不能很好地分配电流。这将导致在并列方式下,不同变频器之间会增加额外的环路电流。因此,在不同的交流变频器被连接到一起之前,对系统必须做一个精确的分析以确保系统在不同方式下的安全和可靠。

对于通用变频器而言,采用共用直流母线很重要的一点就是在上电时必须充分考虑到变频器的控制、传动故障、负载特性和输入主回路保护等。图 5.22 所示为其中一种应用比较广泛的方案。该方案包括三相进线(保持同一相位)、直流母线、通用变频器组、公共制动单元或能量回馈装置和一些附属元件。

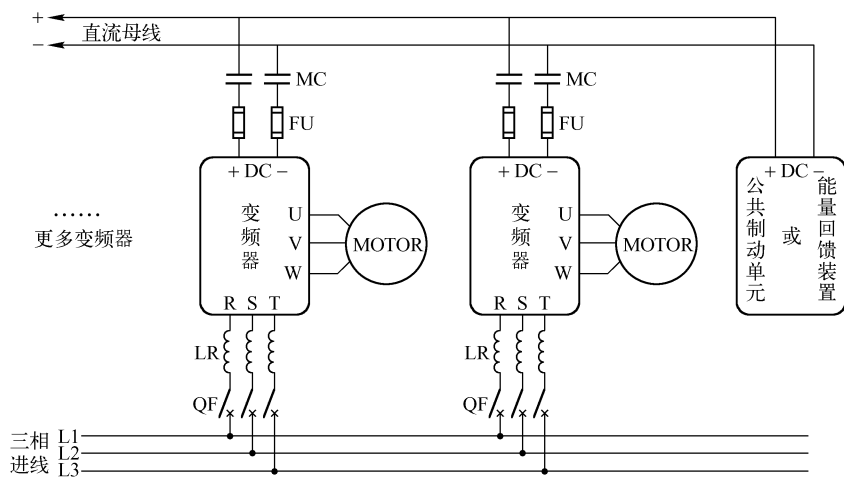


图 5.22 通用变频器共直流母线方案

该方案有以下特点。

- (1) 使用一个完整的变频器,而不是单纯使用传统意义上的整流桥加多个逆变器方案;
- (2) 不需要有分离的整流桥、充电单元、电容组和逆变器;
- (3) 每一个变频器都可以单独从直流母线中分离出来而不影响其他系统;
- (4) 通过连锁接触器来控制变频器的 DC 到共用母线的联络;
- (5) 用快熔来保护挂在直流母线上的变频器的电容单元;
- (6) 所有挂在母线上的变频器必须使用同一个三相电源。



## 5.2.6 双电动机离心机变频器的两种连接方法

### 1. 单路供电法

如图 5.23 所示,交流电网接到主变频器的 R、S、T 端,两变频器的直流母线直接并联。由于副电动机需要的无功励磁电流和副电动机偶尔作为电动机运行(如启动阶段和加减速过渡过程)时的有功电流都要由主变频器提供,因此,选取主变频器的功率时应予以考虑。

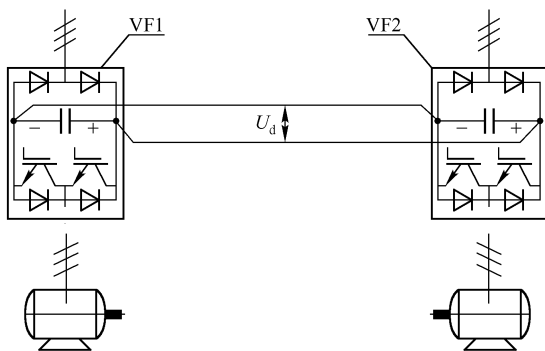


图 5.23 单路供电法

该设计方案的特点是电路简单,不需要调试,动作可靠性极高,缺点是成本稍高。另外,由于副变频器 R、S、T 端悬空,副变频器应有“输入缺相保护禁止”功能。

### 2. 双路供电法

两变频器的 R、S、T 端都接到交流电网(见图 5.24),变频器用快熔保护,快熔型号可选 RS0/RS3 型,额定电流按整流管额定电流的 1.4 倍,分断能力可选 50kA 或 100kA。变频器母线应设置直流接触器并参与故障连锁,以保证在两台变频器完成充电后可以进行母线连接,或在任何一台变频器故障后将 MC2 断开,控制逻辑见图 5.25,MC2 的电压选 660V DC,额定电流应该为 VF2 额定电流的 1.5 倍。

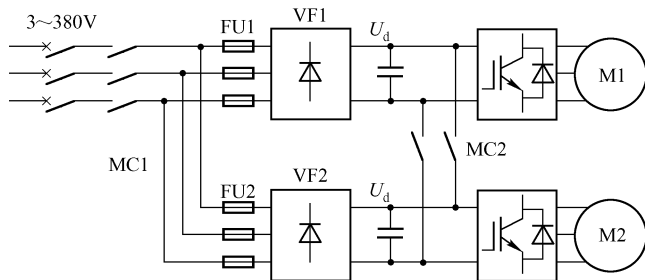


图 5.24 双路供电法



双路供电法设计方案的优点是变频器功率自由选配,和方案(1)相比成本较低,缺点是增加了接触器和快熔,降低了系统可靠性。

3. 节能效果

副电动机处于发电状态的必要条件是在气隙中建立主磁场,只有这样才能在绕组中感应工作电势,才能在  $n > n_0$  的条件下,向网路输送有功电流。但是,副电动机本身并不产生建立磁场所需要的激磁无功电流,它将继续从变频器吸取作为电动状态时同样的空载励磁电流。

异步电动机由电机转变为发电机时,只是电流的有功分量发生了方向改变,而无功分量电流却是不变的。回馈到电网的是产生制动力矩的有功电流,功率为

$$P = Tn/9\ 550$$

式中  $P$ ——回馈电网的有功功率(kW);  
 $T$ ——制动力矩(N·m);  
 $n$ ——副电动机转速(r/min)。

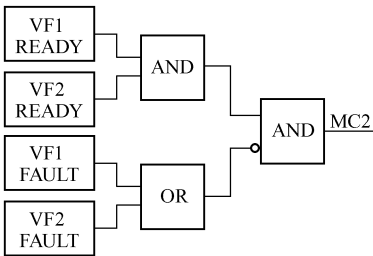


图 5.25 双路供电法的逻辑

5.2.7 变频器的串口通信

变频器被广泛应用于工业控制现场的交流传动之中。通常变频器控制由操作面板来完成,也可通过输入外部的控制信号来实现。而目前在实际的应用中,变频器与控制器之间更趋于通过现场实时总线通信的方式而实现数据的交互,上位机可以通过 RS232/RS485 或现场总线实现通信,如图 5.26 所示。

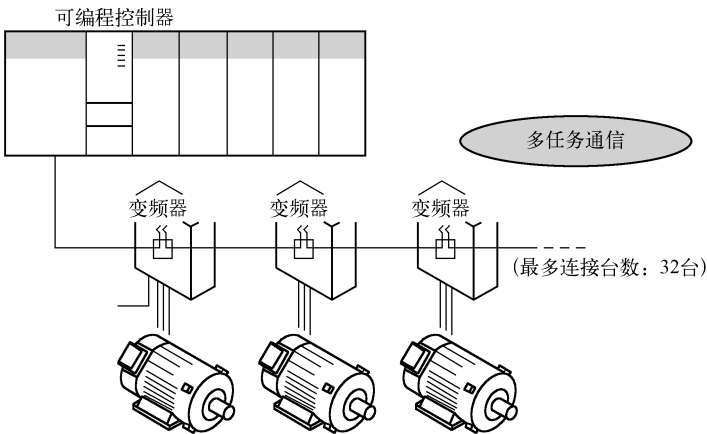


图 5.26 变频器的上位机控制

因此,变频器的通信设计通常从两个层面去考虑,即通用的 RS232/485 通信和现场总线通信。尽管现场总线与 RS232/485 在物理接口上存在类似的概念,但在本质上是区别的。



以往,PC 与智能设备通信多借助 RS232、RS485、以太网等方式,主要取决于设备的接口规范。但 RS232/485 只能代表通信的物理介质层和链路层,如果要想实现数据的双向访问,就必须自己编写通信应用程序,但这种程序多数都不能符合 ISO/OSI 的规范,只能实现较单一的功能,适用于单一设备类型,程序不具备通用性。在 RS232 或 RS485 设备联成的设备网中,如果设备数量超过 2 台,就必须使用 RS485 做通信介质,RS485 网的设备间要想互通信息只有通过“主(Master)”设备中转才能实现,这个主设备通常是 PC,而这种设备网中只允许存在一个主设备,其余全部是从(Slave)设备。而现场总线技术是以 ISO/OSI 模型为基础的,具有完整的软件支持系统,能够解决总线控制、冲突检测、链路维护等问题。现场总线设备自动成网,无主/从设备之分或允许多主存在。在同一个层次上不同厂家的产品可以互换,设备之间具有互操作性。现场总线更是一种计算机网络,这个网络上的每一个节点就是一个智能化设备。它由网络通信、功能模块、对象字典和设备描述、网络管理、系统管理等部分组成。现场总线技术是 3C 技术(Computer、Control、Communication),是从控制层发展到工艺设备现场的技术结果。

### 1. 组网方式

变频器可以采取如图 5.27 所示的组网方式进行通信。方式一为单主机多从机方式,方式二为单主机单从机方式。主机可以选用个人计算机、可编程控制器、DCS;从机则指的是变频器。

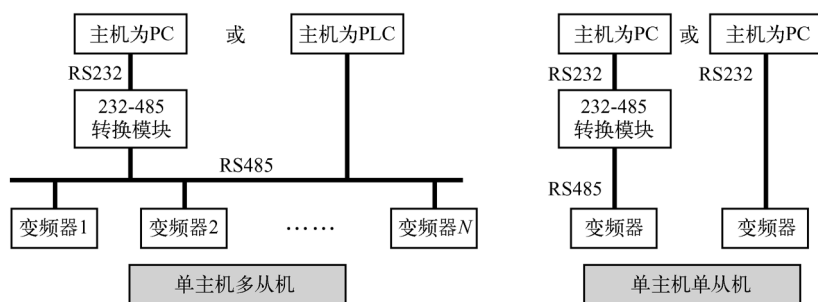


图 5.27 变频器的通信组网方式

### 2. 通信接口

通信接口一般包含接口方式、数据格式和波特率三种。

艾默生变频器的接口方式为 RS485 接口,且为异步半双工。数据格式根据校验方式的不同可以分为无校验、奇校验和偶校验三种,其他则均为 1 位起始位、8 位数据位和 1 位停止位。波特率可以包括 300bps ~ 38 400bps 之间的一种。

### 3. 功能定义

(1) 监视从机运行状态。包括从机的运行参数:当前运行频率、输出电压、输出电流、无单位显示量(运行转速)、运行线速度、模拟闭环反馈、速度闭环反馈、外部计数值、输出



转矩、供水变频器的压力反馈。

从机运行设定参数:当前设定频率、设定转速、设定线速度、模拟闭环设定、速度闭环设定、供水变频器的压力设定。

从机运行状态:I/O 状态、当前运行状态、供水变频器的外部端子状态、报警状态。

(2) 控制从机运行。开机、停机、点动、故障复位、自由停车、紧急停车、设置当前运行频率给定、设置当前压力指令。

(3) 读取从机的功能码参数值。

(4) 设置从机的功能码参数值。

(5) 系统配置和查询命令。配置从机当前运行设置,查询从机设备系列类型,输入并验证用户密码。

#### 4. 通信方式

通信方式遵循以下原则。

(1) 变频器为从机,采用主机“轮询”和从机“应答”的点对点通信方式。主机使用广播地址发送命令时,从机不允许应答。

(2) 从机在最近一次对主机轮询的应答帧中上报当前故障信息。

### 5.2.8 Modbus 总线

Modbus 是 MODICON 公司为该公司生产的 PLC 设计的一种通信协议,从其功能上看,可以认为是一种现场总线。它通过 24 种总线命令实现 PLC 与外界的信息交换。具有 Modbus 接口的 PLC 可以很方便地进行组态。Modbus 传输协议定义了控制器可以识别和使用的信息结构,而不需考虑通信网络的拓扑结构。它定义了各种数据帧格式,描述了控制器访问另一设备的过程,怎样作出应答响应,以及可检查和报告的错误。

Modbus 有两种传送方式:RTU(Remote Terminal Unit)方式和 ASC II 方式。Modbus 以 LSB 在前的形式传送数字量,以 MSB 在前的形式传送模拟量。Modbus 把通信参与者规定为“主站”(Master)和“从站”(Slave)。主站可向多个从站发送通信请求,最多可达 247 个从站。每个从站都有自己的地址编号。Modbus 的 RTU 方式规定通信字符串的最后两个字节用于传递循环冗余校验数据。其校验方式是将整个字符串(不包括最后两个字节)的所有字节按规定的方式进行位移并进行 XOR(异或)计算。接收方在收到该字符串时按同样的方式进行计算,并将结果同收到的循环冗余校验的两个字节进行比较,如果一致则认为通信正确;如果不一致,则认为通信有误,从站将发送 CRC 错误应答。Modbus 中 RTU 采用 CRC-16 的冗余校验方式。

控制器与 PLC 之间通信的内容主要包括主站对从站的读取和写入。Modbus 规定:只有主站具有主动权,从站只能被动地响应,包括回答出错信息。

三菱 A700 系列变频器能够从 RS485 端子使用 Modbus RTU 通信协议,进行通信运行和参数设定。



## 5.3 技能训练一：变频器 A700 的直流供电方式

### 5.3.1 A700 变频器的直流供电模式一

当变频器所处供电电源为直流时,A700 变频器也能工作,其中的一个直流供电模式如图 5.28 所示。从接线图中可以看出,交流电源连接端子 R/L1、S/L2、T/L3 不连接外部电源,而是使用直流电源与 R1/L11、S1/L21 与 P/+、N/- 连接,其中 R 与 R1、S 与 S1 之间的短接线必须拆除。

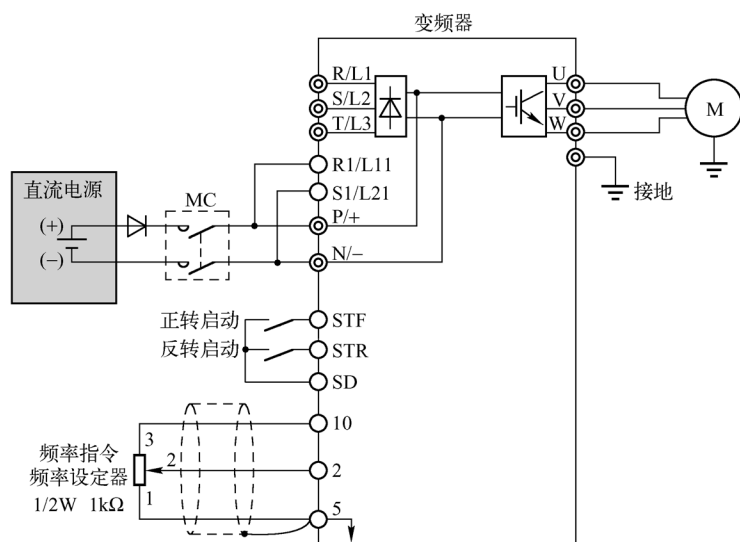


图 5.28 直流供电模式一

参数设置:Pr. 30 = 10 或 11。

### 5.3.2 A700 变频器的直流供电模式二

图 5.29 所示为直流供电模式二的外部连接图。在该线路中,变频器内部控制线路供电端子 R1/L11、S1/L21 必须与 P/+、N/- 连接,且与三相进线的短接片必须拆除。同时,由于直流供电模式二采用的是交流与直流回路切换供电,必须提供“供电运行许可信号”后,才能进行直流电源运行。

关于对输入端子 RH、RM 和输出端子 RUN 等的设定按表 5.3 所示的进行。

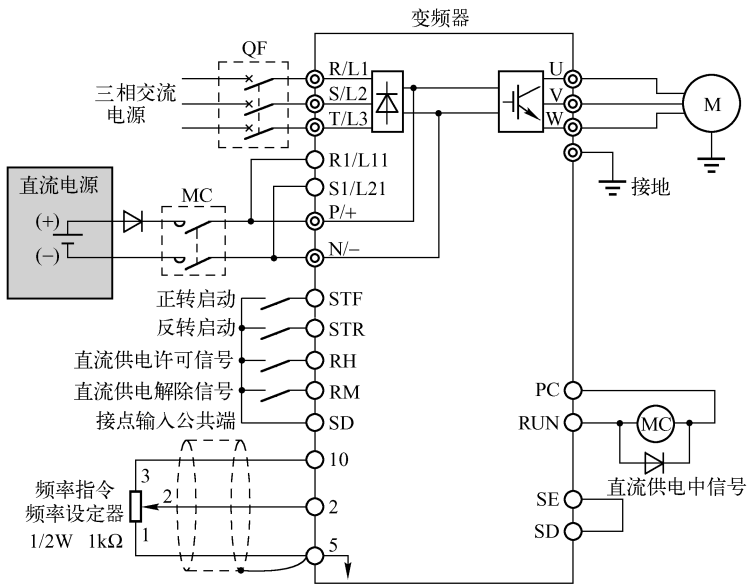


图 5.29 直流供电模式二

表 5.3 多功能输入、输出功能定义

信 号		名 称	内 容	参 数 设 定
输入	X70	直流供电运行许可信号	使用直流供电进行运行时,X70 信号 ON。由于停电,变频器的输出被切断时,使 X70 信号 - OFF→ON,约 150ms 后可以启动(瞬间停电再启动有效时,并且经过了 Pr. 57 设定时间后,开始启动)。在变频器运行过程中,使 X70 信号 - OFF 时,切断输出(Pr. 261 ≠ 0)或减速停止(Pr. 261 ≠ 0)	在 Pr. 178 ~ Pr. 189 中的任一个设定为 70
	X71	直流供电解除信号	中止直流供电时,信号为 ON。X70 信号 - ON 时,变频器在运行过程中,X71 信号 - ON 时,切断输出(Pr. 261 = C)或减速停止(Pr. 261 ≠ 0),停止后,Y85 信号 - OFF。X71 信号 - ON 后,即使 X70 信号 - ON,也不能运行	在 Pr. 178 ~ Pr. 189 中的任一个设定为 71
输出	Y85	直流供电中信号	在交流电源停电过程中或电压不足时,该信号 ON。X71 信号 - ON,或恢复正常供电时,该信号 OFF。在变频器运行过程中,即使恢复了正常供电,Y85 信号也不 OFF,变频器停止后 OFF。因为电压不足,Y85 信号 ON 时,即使电压不足的情况解除,Y85 信号也不 OFF。设置变频器时,保持 ON/OFF 状态	请在 Pr. 190 ~ Pr. 196 的任一个中设定为 85(正逻辑)或 185(负逻辑)

直流供电模式二的参数设置:Pr. 30 = 20 或 21。

5.3.3 直流供电模式二的电梯变频器运行实例

当变频器停电后,A700 可以利用停电检测功能进行直流与交流供电的方式转换,这个在电梯运行中尤其重要。图 5.30 所示为某电梯变频器运行在直流供电模式二(交流与直流可以切换)的时序图。



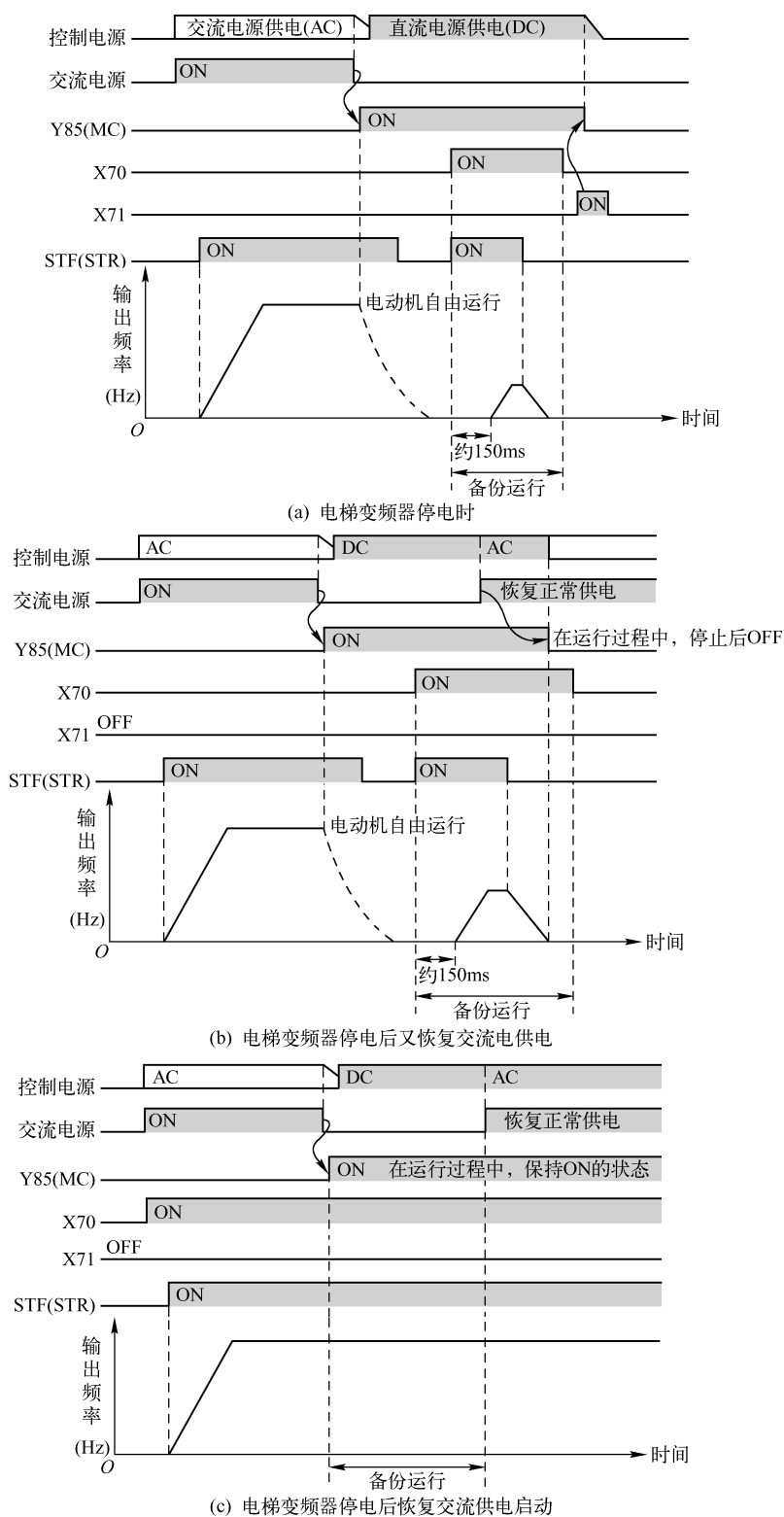


图 5.30 电梯变频器运行在直流供电模式二的动作时序



## 5.4 技能训练二：变频器 A700 的通信测试

### 5.4.1 A700 变频器通信端子熟悉

A700 可以使用 PU 接口和 RS485 端子与计算机、PLC 等上位机进行通信。PU 接口用通信电缆连接个人计算机与 FA 等计算机,用户可以用客户端程序对变频器进行操作,监视及读出参数,写入参数。在三菱变频器协议(计算机链接运行)的情况下,可以通过 PU 接口和 RS485 端子进行通信。而在 Modbus RTU 协议的情况下,只能通过 RS485 端子进行通信。图 5.31 所示为通信端子。表 5.4 所示是 A700 支持的 RS485 通信项目与内容。

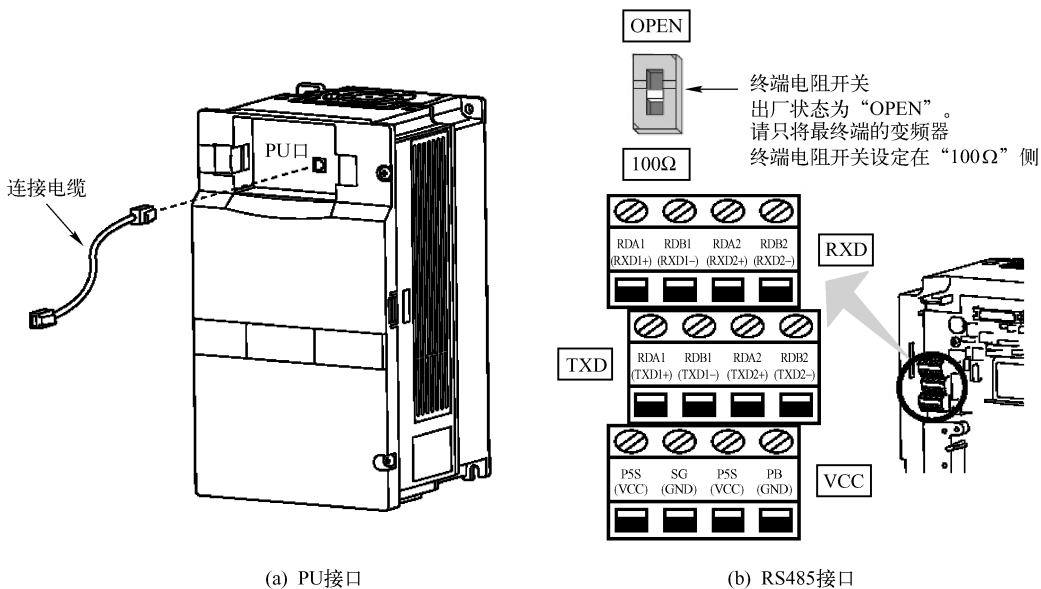


图 5.31 A700 变频器通信接口

表 5.4 A700 支持的 RS485 通信项目与内容

项 目		内 容
通信协议		三菱协议(计算机链接)
参照规格		EIA-485( RS485 )
连接台数		1: N(最多 32 台), 设定 0 ~ 31 站
通讯速度	PU 接口	能够选择 4 800/9 600/19 200/38 400bps
	RS485 端子	能够选择 300/600/1 200/2 400/4 800/9 600/19 200/38 400bps
控制步骤		起止同步方式



续表

项 目		内 容
通信方法		半双工方式
通信规格	字符方式	ASCII(能够选择7位/8位)
	起始位	1位
	停止位长	能够选择1位/2位
	奇偶校验	能够选择有(偶数、奇数)无
	错误校验	求和校验
	终端连接器	CR/LF(能够选择有无)
等待时间设定		能够选择有无

## 5.4.2 A700 变频器 PU 口操作

变频器的 PU 口采用以太网线的 RJ45 插头相连接,因此可以使用两对导线连接,能将变频器的 SDA 与 PLC 通信板(FX2N-485-BD)的 RDA 连接,变频器的 SDB 与 PLC 通信板(FX2N-485-BD)的 RDB 连接,变频器的 RDA 与 PLC 通信板(FX2N-485-BD)的 SDA 连接,变频器的 RDB 与 PLC 通信板(FX2N-485-BD)的 SDB 连接,变频器的 SG 与 PLC 通信板(FX2N-485-BD)的 SG 连接。

三菱变频器 PU 端口如图 5.32 所示。

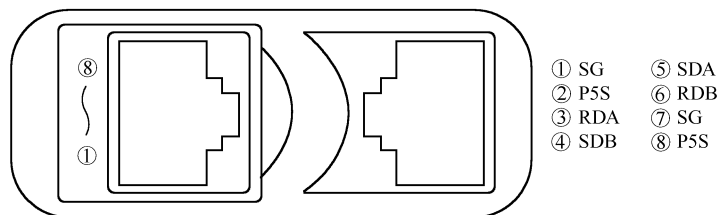


图 5.32 三菱变频器 PU 端口

PLC 和变频器之间进行通信,通信规格必须在变频器的初始化中设定,如果没有进行初始化设定或有一个错误的设定,数据将不能进行传输。而且每一次参数设定完之后,需要复位变频器(断电复位),否则将不能进行通信。表 5.5 所示为 A700 变频器 PU 接口的相关参数设置情况案例。

表 5.5 A700 变频器 PU 接口的相关参数设置情况案例

参 数 号	名 称	设 定 值	说 明
Pr. 117	站号	0	设定变频器站号为 0
Pr. 118	通信速率	96	设定波特率为 9 600bps
Pr. 119	停止位长/数据位长	11	设定停止位 2 位,数据位 7 位
Pr. 120	奇偶校验有/无	2	设定为偶校验



续表

参 数 号	名 称	设 定 值	说 明
Pr. 121	通信再试次数	9 999	即使发生通信错误,变频器也不停止
Pr. 122	通信校验时间间隔	9 999	通信校验终止
Pr. 123	等待时间设定	9 999	用通信数据设定
Pr. 124	CR. LF 有/无选择	0	选择无 CR. LF

5.4.3 变频器 RS485 端子操作

A700 变频器能通过 RS485 端子与上位机联系,其参数设置如表 5.6 所示。

表 5.6 RS485 端子参数设置

参数号	名 称	初 始 值	设 定 范 围	内 容
331	RS485 通信站号	0	0 ~ 31 (0 ~ 247)	设定变频器站号
332	RS485 通信速率	96	3,6,12,24,48,96,192,384	选择通信速率
333	RS485 通信停止位长	1	0,1,10,11	选择停止位长、数据长
334	RS485 通信奇偶校验选择	2	0,1,2	选择奇偶校验规格
335	RS485 通信再试次数	1	0 ~ 10,9 999	设定发生数据接收错误后的再试次数允许值
336	RS485 通信校验时间间隔	0s	0	可以进行 RS485 通信,切换到 NET 运行模式后,报警停止
			0.1 ~ 999.8s	设定通信校验时间间隔
			9 999	不进行通信校验
337	RS485 通信等待时间设定	9 999	0 ~ 150ms,9 999	设定向变频器发送后直到返回的等待时间
341	RS485 通信 CR/LF 选择	1	0,1,2	选择有无 CR-LF
549	协议选择	0	0	三菱变频器(计算机链接)协议
			1	Modbus RIU 协议

5.5 项目解决方案

5.5.1 卧螺离心机变频器的硬件设计

卧螺离心机的变频器硬件接线如图 5.33 所示,它采用单回路供电法,其中由于主变频器需要承担 M1 和 M2 电动机的全部电流,因此,M1 电动机的变频器功率选型必须大于 22kW + 5.5kW,根据功率高选原则,确定为 30kW。变频器 VF2 采用直流供电模式一方



式,无三相进线。

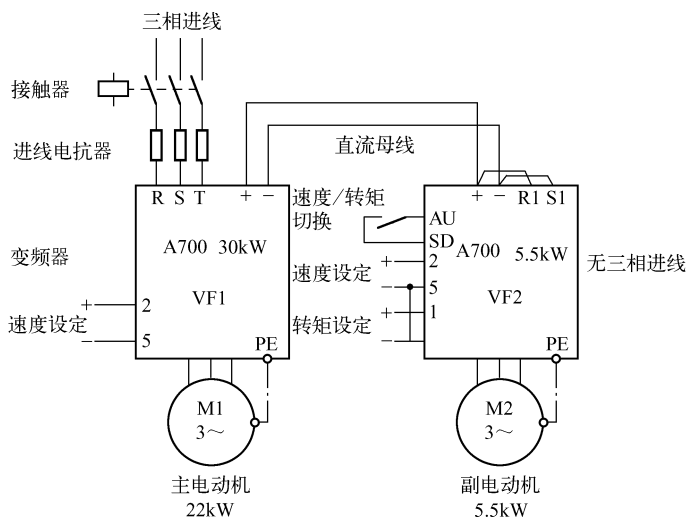


图 5.33 卧螺离心机变频器硬件接线

## 5.5.2 卧螺离心机变频器的参数设置

卧螺离心机变频器中, VF1 主变频器运行在开环矢量控制的速度控制方式, 而 VF2 副变频器则运行在开环矢量的速度与转矩切换模式。

### 1. VF1 主变频器参数设置(如表 5.7 所示)

表 5.7 VF1 主变频器参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 71	适用电动机	3(其他品牌标准电动机)
Pr. 73	模拟量输入选择	0(0~10V 信号,来自于上位机)
Pr. 80	电动机容量	22kW(注意:选电动机容量)
Pr. 81	电动机极数	2
Pr. 800	控制方法选择	10(无传感器矢量速度控制)

### 2. VF2 副变频器参数设置(如表 5.8 所示)

表 5.8 VF2 副变频器参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 30	再生功能选择	10(直流供电模式一)
Pr. 71	适用电动机	3(其他品牌标准电动机)



续表

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 73	模拟量输入选择	0(0~10V 信号)
Pr. 80	电动机容量	5.5kW
Pr. 81	电动机极数	2
Pr. 184	AU 端子功能选择	26(控制模式切换)
Pr. 800	控制方法选择	12(无传感器矢量速度-转矩切换)
Pr. 804	转矩指令权选择	0(模拟量1 通道)
Pr. 807	速度限制选择	0(速度控制时的速度指令值)
Pr. 868	端子1 功能分配	3 或 4(转矩指令)

5.5.3 采用通信控制的卧螺离心机硬件与参数设置

1. 硬件设计

卧螺离心机的通信采用 PLC(带 485 通信卡的 FX2N-485-BD)来进行,其硬件设计如图 5.34 所示,通信采用 Modbus RTU 协议。

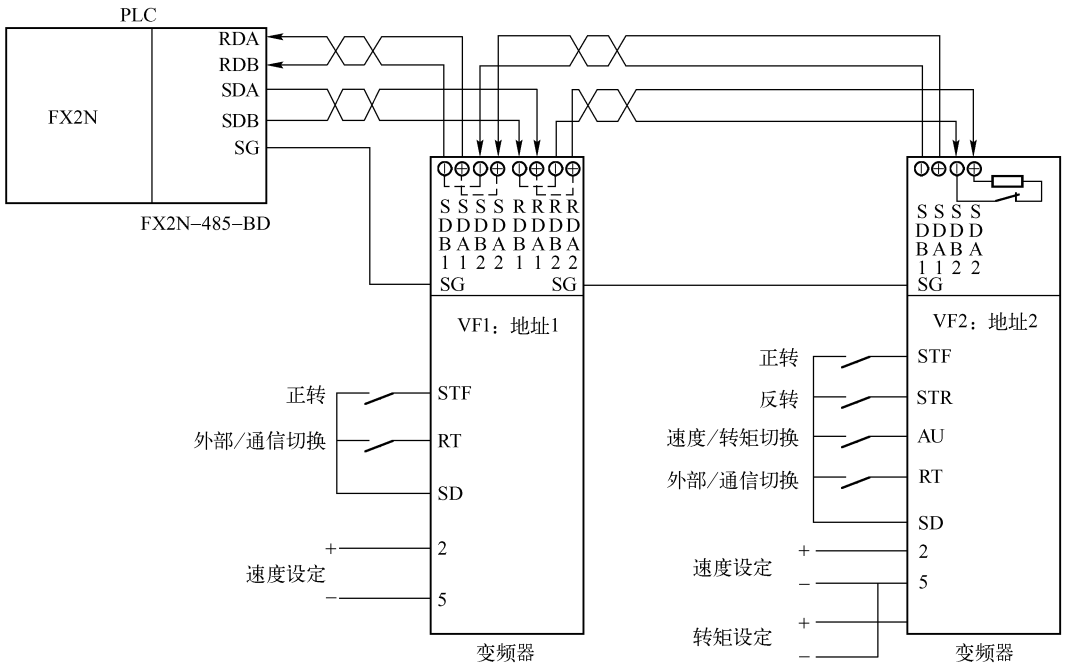


图 5.34 变频器通信硬件设计

2. 变频器参数设置

表 5.9 所示为 VF1(地址号 1)的变频器参数设置,另外一台地址为 2,其他参数不变。



进行 Modbus RTU 协议通信时,Pr. 551 必须设置为 2,Pr. 340 设置为除 0 以外的值,Pr. 79 设置为 0、2 或 6。通过 RS485 端子进行 Modbus RTU 协议通信时,可以在 NET 网络模式下运行,也可以通过 RT 等端子进行切换。PLC 与变频器之间进行通信时,通信规格必须在变频器中进行设定,每次参数初始化设定后,需复位变频器或通断变频器电源。

表 5.9 VF1 变频器参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 79	运行模式选择	2(固定为外部运行)
Pr. 183	RT 功能选择	66(外部 - NET 运行的切换)
Pr. 331	通信站号	1(设定变频器站号为 1)
Pr. 332	通信速率	96(设定通信速度为 9 600bps)
Pr. 332	停止位长	1(停止位长 1 位)
Pr. 334	奇偶校验	2(偶校验)
Pr. 340	通信启动模式选择	1(网络运行模式开始)
Pr. 539	通信校验时间	9 999(不进行通信校验)
Pr. 549	协议选择	1( Modbus RTU 协议)
Pr. 551	PU 模式操作权选择	2(PU 运行模式操作权作为 PU 接口)

网络运行模式如图 5.35 所示。

网络运行模式



图 5.35 网络运行模式

### 3. 三菱 PLC 的设置

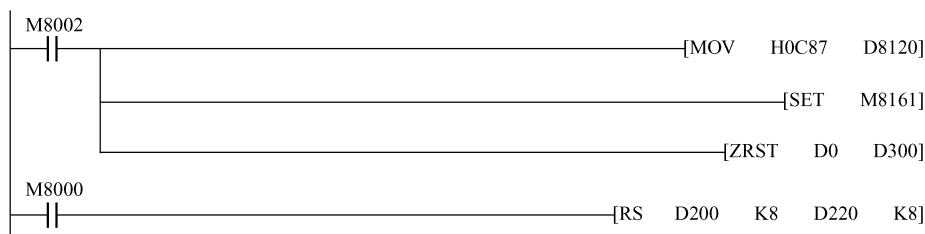
对通信格式 D8120 进行设置:

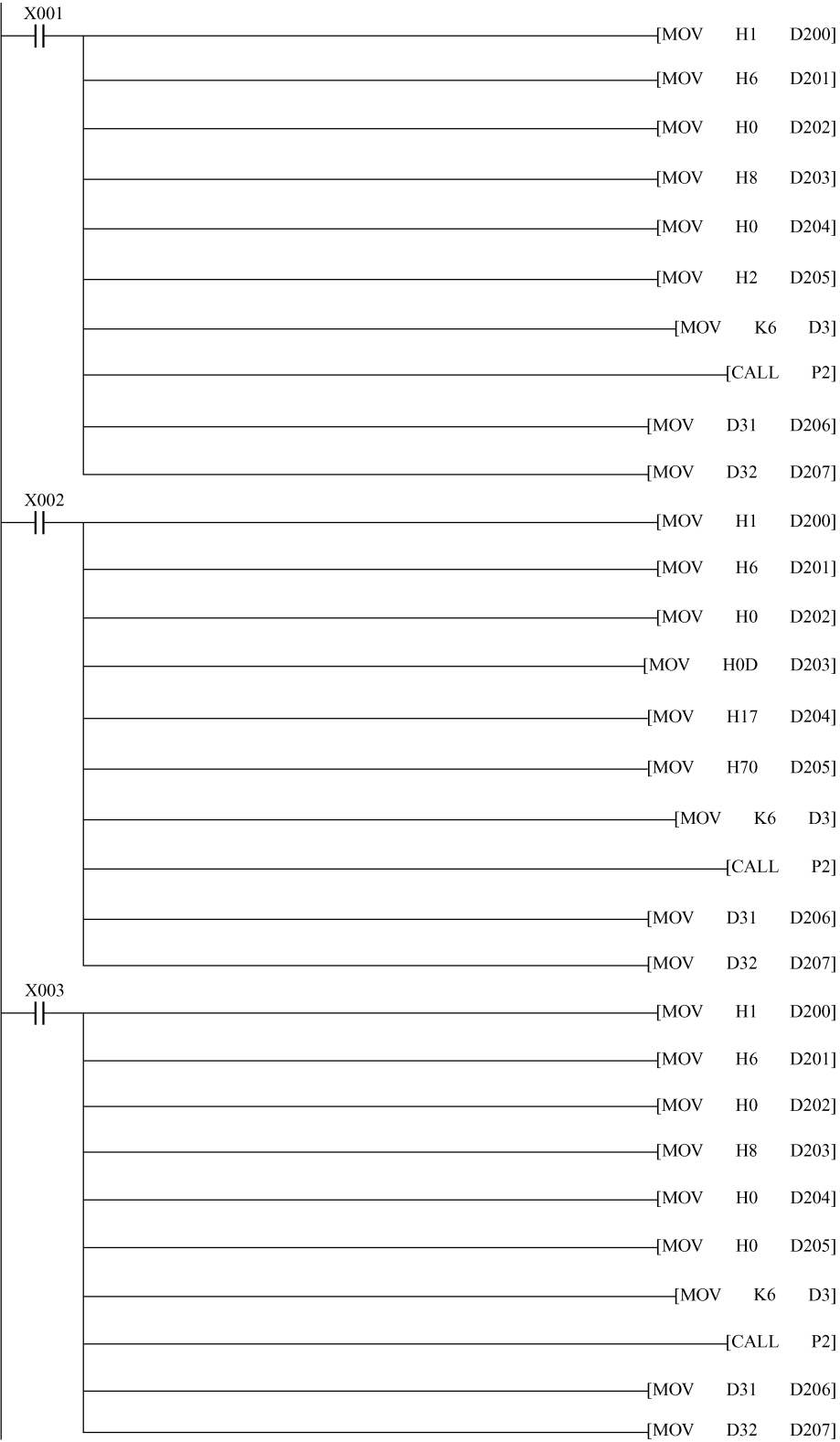
D8120 设置值为 0C87,即数据长度为 8 位,偶校验停止位 1 位,波特率 9 600pbs,无标题符和终结符。

修改 D8120 设置后,确保通断 PLC 电源一次。

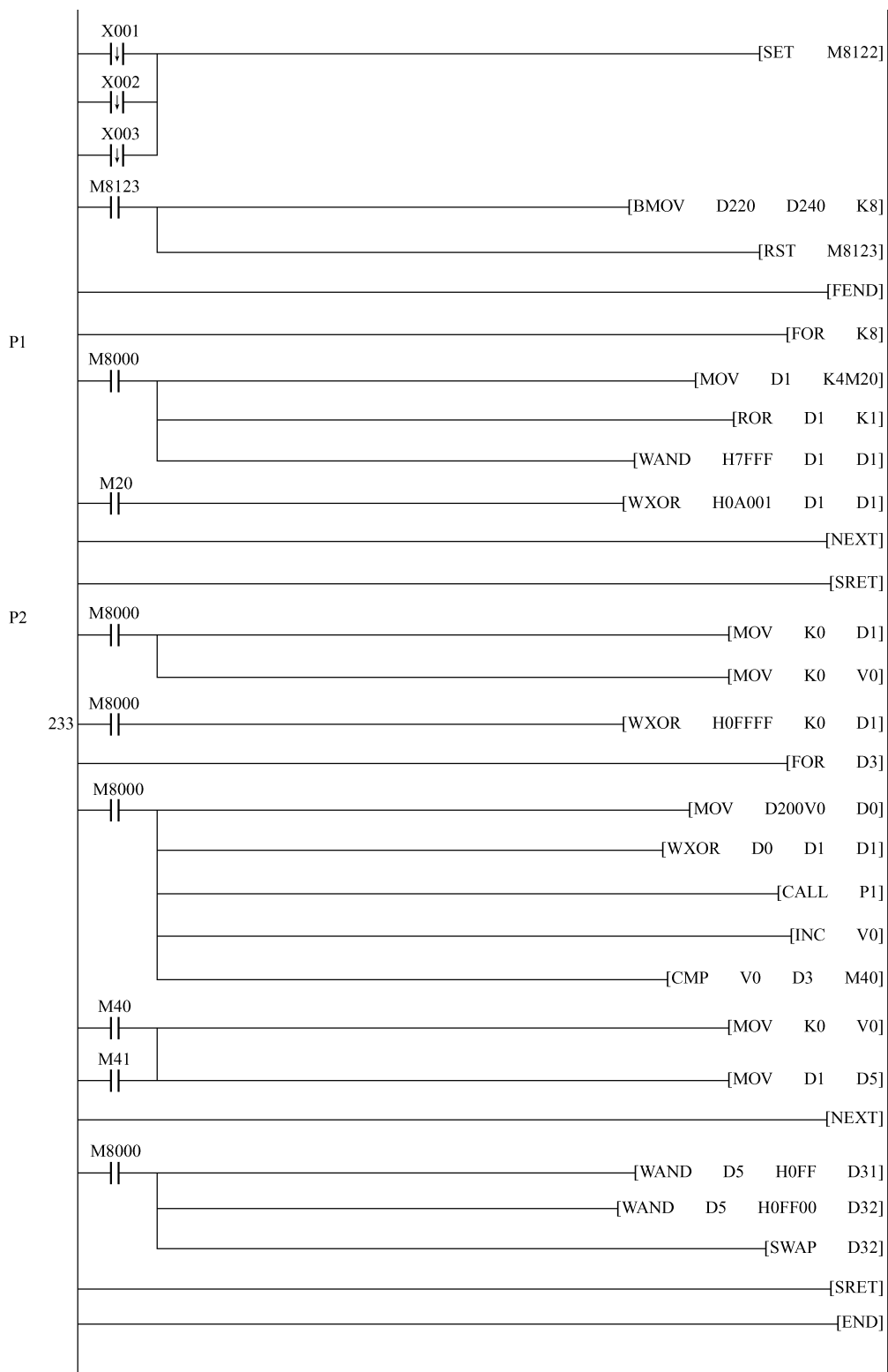
### 4. 通信程序

以 VF0 变频器为例,采用 Modbus RTU 协议,PLC 与变频器通信部分 PLC 案例程序如下。











程序说明:

- (1) 当 X1 接通一次后,变频器进入正转状态。
- (2) 当 X2 接通一次后,写入变频器运行频率 60Hz。
- (3) 当 X3 接通一次后,变频器进入停止状态。

在指令中,变频器指令地址为 0 时,为广播指令,所有从站变频器只接收 PLC 发出的指令,不向主机发送响应信息。

## 5.6 技术答疑

**【问题 1】**在双电动机离心机开环矢量中,出现了速度无法上升到速度指令指定的值的情况,该如何处理?

可能原因:(1) 转矩不足,也就是说转矩限制发生了动作。(2) 仅为 P (比例)控制。

采取方法:(1) 增大转矩限制值,如果还是不行,说明变频器容量不够,需要更换变频器。(2) P (比例)控制时如负荷较重,将产生速度偏差,需要切换为 PI 控制。

**【问题 2】**离心机的副电动机的转速不稳定,该如何处理?

可能原因:(1) 速度指令发生了变动。(2) 转矩不足。(3) 速度控制增益与机械不匹配,即存在共振。

采取措施:(1) 确认指令装置是否发来了正确的速度指令,并采取防噪声干扰的措施;降低 Pr. 72 PWM 频率选择;增大 Pr. 822 速度设定滤波器 1。(2) 增大转矩限制值。(3) 实施简单增益调谐,同时调整 Pr. 820、Pr. 821 值,必要时实施速度前馈和模型适应速度控制。

**【问题 3】**通过卧螺离心机了解了多传动的一些简单概念,有没有更多的关于多传动的定义?

多电动机传动是相对于单电动机传动而言的,也就是说在一条生产线或一套设备中有两个或两个以上的变频器并列运行,且安装位置相邻,如造纸生产线、胶片生产线、纺丝机、轧机设备、起重机等。这些设备都要求精确速度控制、多单元同步传动或比例同步(牵伸)传动等,应用变频器可以提高工艺要求,提升产品质量,同时减轻人工的劳动强度,提高生产效率,这种类型的多电动机传动控制系统又被称为变频多传动控制系统。

变频多传动控制系统的安装如图 5.36 所示。

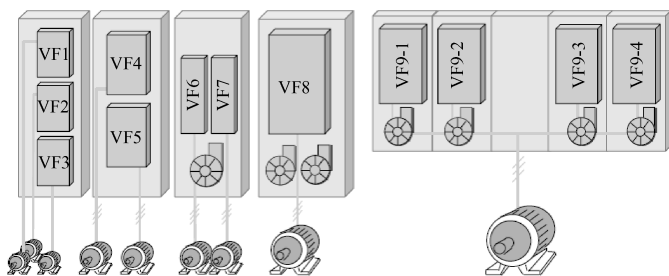


图 5.36 变频多传动控制系统的安装



在变频多传动控制系统中,速度同步运行是最基本的控制方式,它可以采取以下三种方式(如图 5.37 所示)。

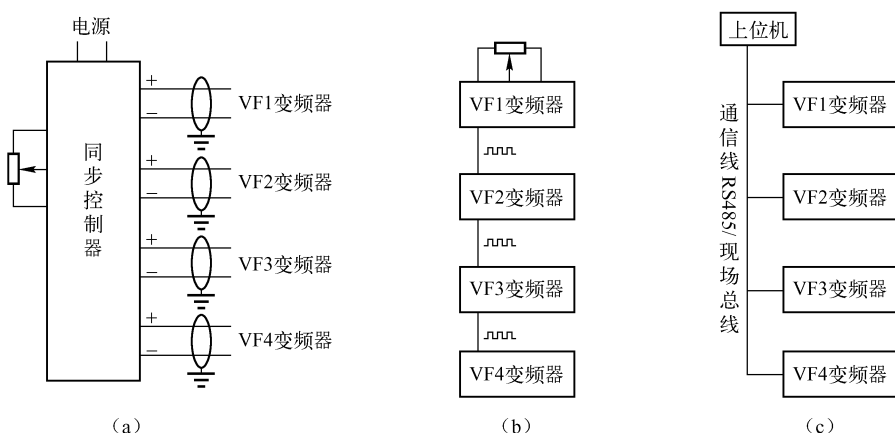


图 5.37 变频多传动控制系统的速度同步控制方案

### 1. 模拟量同步控制

当一台整机或一条生产线中各个传动单元分别由独立的变频器驱动时,为了保证整机在一个主令转速的设置下,各单元同步协调工作(这里为固定的牵伸比),需要配置同步控制器。该同步控制器可对各单元传动速度分别整定,以实现各单元以一定的比例速度同步工作,总的主令设定电压(由电位器决定)通过给定积分器输出,可实现软启动和软停车。

该同步控制器能输出多路模拟量信号给变频器(这里为 VF1 ~ VF4)。模拟量输入设定方法是一种控制精度较高的方法,一般情况下可达电压“11bit + 符号”或电流“10bit”级别的分辨率。

### 2. 脉冲信号同步控制

在电子技术中,脉冲信号是一个按一定电压幅度、一定时间间隔连续发出的脉冲信号。我们将第一个脉冲和第二个脉冲之间的时间间隔称为周期;而将在单位时间(如 1s)内所产生的脉冲个数称为频率。

通常情况下,最大输入脉冲频率可以在 0.1 ~ 50kHz 之间选择。VF1 变频器在主令电位器的控制下输出同步脉冲数给 VF2, VF2 接收脉冲数进行运转并同时输出同步脉冲数给 VF3,直到 VF4。由于脉冲信号的数字处理技术和抗干扰能力强,因此在同步控制中也被广泛使用。

### 3. 通信总线同步控制

目前商品化的通用变频器都是全数字技术,内部有微处理器进行逻辑运算和数据处理,精度高,可靠性好,还具有异步串行通信口,为交流调速系统在 RS485 或现场总线中



运用提供了有利条件。

通过网络或通信设定频率是一种高精度的频率设定,具有通信速率高,稳定可靠,接线简单等优点,而且在模拟量控制时,输出端经过一个数模转换器,经过导线,进入输入端(变频器)又需要经过一个模数转换器才能参与控制。两个转换器位数不同和导线损耗都可能造成一定误差,而通信直接传递数字量,不需要转换,没有误差,在传输过程中不会造成损耗,而且响应速率也会很高。

通常情况下,同步控制可采用 RS485 总线的异步通信控制方式,如图 5.36(c)所示。选用变频器标准内置的 RS485 可以方便实现与上位机的通信;同时也可挂现场总线或局域网,通过网络进行信息交换,主要有 Profibus、Modbus、FF、DeviceNet、CC-Link 等对应不同的网络及总线形式,但必须配用专用接口卡。

**【问题 4】**Modbus 是变频控制中常用的一种总线形式,对于变频总线控制系统来说,它的基本构成是什么?有什么特点?潜力如何?

### 1. 变频器的现场总线适配器

变频总线控制系统的特点,就是通过总线可以控制和监控变频器。在该系统中如果变频器要与现场总线控制系统很好地进行融合,就必须使用专用的现场总线适配器(如图 5.38 所示)。一般而言,变频器的现场总线适配器是易拆装的模块,它能很方便地安装在变频器内部。由于现场总线模块的应用范围很广,可以连接不同的可编程控制器主站,因此用户有很大的自由性来选择与变频器相配合的自动化系统。

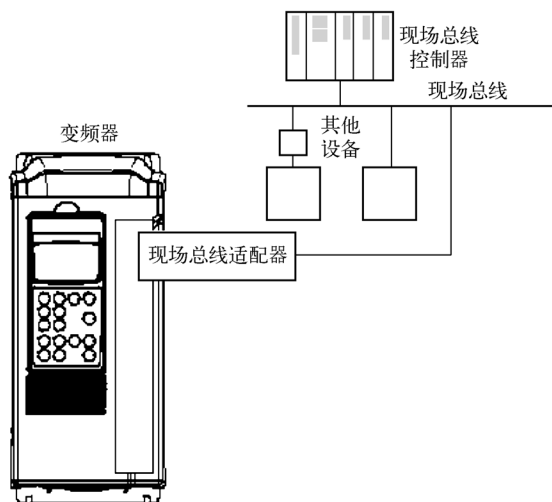


图 5.38 现场总线适配器

### 2. 变频总线控制系统的特点

变频总线控制系统具有以下特点。

(1) 对传动进行控制。通过现场总线,沟通上位控制系统和变频器传动之间的联系。



通过传递控制字,可以实现对传动的多种控制功能,例如启动、停止、复位、控制斜坡发生器的斜率,以及传递与速度、转矩、位置等有关的给定值或实际值。

以通用变频器为例,其控制如图 5.39 所示。

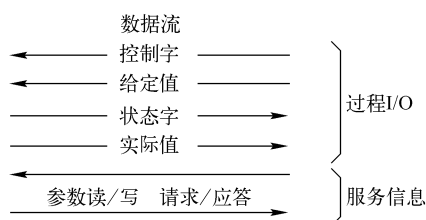


图 5.39 总线控制示意

(2) 对传动进行监测。传动内部的转矩、速度、位置、电流等一系列参数或实际值,都可以设定循环发送模式,以满足生产过程中快速的数据传送。

(3) 对传动进行诊断。准确可靠的诊断信息可以从传动设定的报警、极限和故障字中获得,这样就可以降低传动的停机时间,因而减少了生产的停工时间。

(4) 对传动参数的处理。生产过程中的所有参数的上传或下载都可以通过读/写参数来完成。

(5) 方便的扩展。串行通信简化了模块化机械设计的升级问题,使得以后的升级更为简单。

(6) 减少安装时间和成本。在电缆方面,用双绞线替换了大量传统传动控制电缆,不但降低了成本,而且提高了系统的稳定性。

在设计方面,由于软硬件采用了模块化结构,缩短了现场总线控制安装的工期。

在调试和装配方面,由于采用了模块化的机械配置,可以对系统中功能各自独立的部分进行预先调试。模块化的结构使得系统的安装变得简单快捷。

### 3. 变频总线控制系统的发展潜力

从目前国内外自动化控制系统所应用的现场总线来看,主要有 Profibus、Modbus、Lonworks、FF、Hart、CAN 等现场总线。总线系统大多采用单一的现场总线技术,即整个自动化控制系统中只采用一种现场总线,整个系统构造比较单一。当然,还有两种或两种以上的现场总线系统共存的情况,这时可以通过总线桥原理来实现现场总线之间的调配。

从实际应用情况来看,变频器行业的现场总线已不仅仅是一个新技术领域或新技术问题,在研究它的同时,我们发现它已经改变了我们的观念:如何看待在变频器应用中使用现场总线,要比研究它的技术细节更为重要。

(1) 现场总线是一个巨大的商业机会。一项权威报告声称现场总线的应用将使变频控制系统的成本下降 67%;巨大的商业利益直接导致产生一个巨大的市场,并且促使传统的变频器控制市场萎缩,从而引发技术进步。这些对于变频器行业来说都很重要,因为我们正处在新旧市场交替的关口。

(2) 现场总线是一场技术革命。现场总线带来了观念的变化,我们以往开发变频器



新产品,往往只注意变频器产品本身的性能指标,比如矢量控制的转矩特性、转速精度特性等,对于变频器与其他相关产品的关联就考虑比较少一点。对于变频器这样一个比较保守的行业来说,新产品就不那么容易被用户接受。而现场总线产品却恰恰相反,它是一个由用户利益驱动的市场,用户对新产品应用的积极性比生产商更高。然而,变频器现场总线新产品的开发也与传统产品不同:它是从系统构成的技术角度来看问题,它注重的是系统整体性能的提高,不强求局部最优,而是整体的配合。这种配合在主控计算机软件运行下能使控制系统应用新的理论来发挥最大的效能,这一点是传统变频器产品很难做到的。

总之,现场总线的“负跨越”(在技术水平提高的同时,掌握和应用这项新技术的难度却降低了)特性使它在变频器应用中被越来越积极地推广,越来越为用户所接受。

## 思考与练习

习题 5.1 根据本项目的知识讲座和技能训练,并结合网络搜索来回答以下问题。

- (1) 共直流母线的工作原理是什么?
- (2) 卧螺离心机采用共直流母线有何优点?
- (3) A700 变频器采用直流供电有哪些形式? 如何接线?
- (4) 多传动控制的类型有哪些?
- (5) 通信控制对于多传动来说有哪些优点?

习题 5.2 本项目中,当 VF2 切换为转矩控制时,VF1 应该处于停机状态,这时线路该如何设计?

习题 5.3 如图 5.40 所示为某辊道输送带,分别由变频器 1 和变频器 2 进行控制,由于两个电动机轴之间通过万向节、传动辊、齿轮带等硬连接方式进行耦合,在这种情况下,只要其中一个传动进行运动,另外一个或几个传动也将被动运行。原先采用变频器分别供电,现在要求采用共母线方式,请设计合理的控制线路,并设置参数。

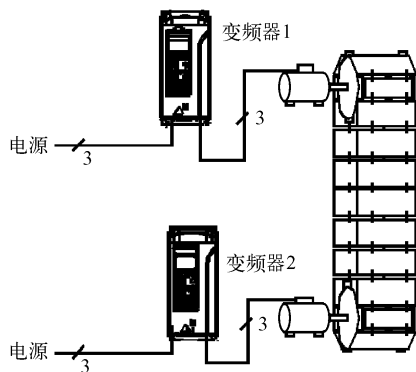


图 5.40 辊道输送带



习题 5.4 某小型离心机(如图 5.41 所示)原采用交流进行控制,由于离心工艺要求在运转过程中不能断电,因此需要配备蓄电池进行备用供电,请设计合理的变频控制方式。已知电动机功率为 0.75kW,采用液位 PID 控制。

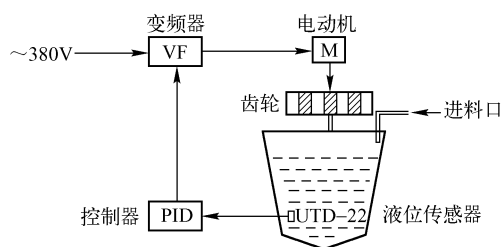


图 5.41 小型离心机 PID 控制

习题 5.5 如果图 5.41 所示小型离心机的电动机不采用外接 PID 控制器,而是采用来源于 PLC(如 FX2N)的速度进行控制,该如何设计和编程?

# 造纸收卷系统的闭环矢量控制

与开环矢量控制相比,闭环矢量控制方式主要用于高精度的速度控制、转矩控制、简单伺服控制等对控制性能要求严格的使用场合。在该方式下采用的速度传感器一般是旋转编码器,并安装在被控电动机的轴端,通过设定编码器的相关参数才能进一步使用。本项目通过对造纸收卷电动机和主传动的速度控制和转矩控制来实现对纸卷的恒定张力控制,并能实现系统的稳定性和可靠性。

本项目的学习目标如下。



### 知识目标

了解闭环矢量控制的定义;熟悉闭环矢量控制与开环矢量控制的差异;掌握 PG(或 PLG)的变频器连接方式;掌握张力控制和转矩控制的参数设定。



### 技能目标

能对闭环矢量控制进行简单接线、参数设置与调试;能熟练掌握 PG(或 PLG)的参数设定;能进行张力控制器的输入/输出接线,并运用闭环矢量控制解决速度、张力或转矩控制项目。



### 职业素养目标

能充分了解大传动系统的各个自动化单元的关系,培养针对具体控制系统进行合理选购的职业素养。

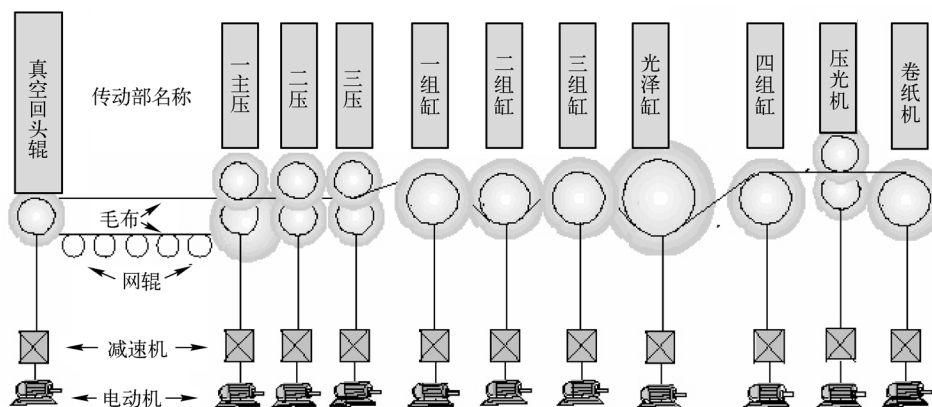




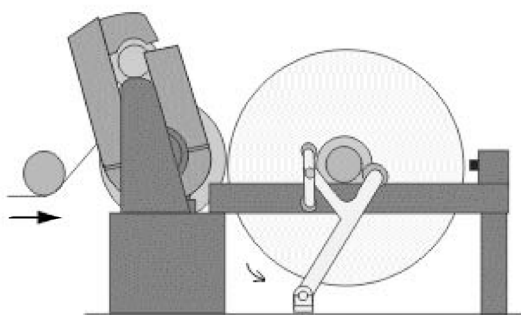
## 6.1 项目背景及要求

### 6.1.1 项目背景

某板纸厂新上一套造纸设备,最高速度  $140\text{m}/\text{min}$ ,纸张克重(每平方米纸张的质量)  $100 \sim 500\text{g}$ ,该生产线由 11 个传动点构成,按生产流程依次为真空回头辊、一主压、二压、三压、一组缸、二组缸、三组缸、光泽缸、四组缸、压光机、卷纸机,系统构成如图 6.1(a)所示。



(a) 造纸机构成



(b) 卷纸机部位

图 6.1 造纸机收卷控制

其中对于压光机主传动和卷纸机的控制要求比较高,以满足特殊的工艺要求,尤其是采用被动收卷要求纸卷端面整齐、张力恒定,如图 6.1(b)所示。



## 6.1.2 控制要求

已知压光机主传动(以下简称主传动)为37kW,被动收卷为15kW,要求如下。

- (1) 主传动采用速度控制;
- (2) 收卷传动采用转矩控制或张力控制,且都采用带编码器的变频电动机,要求张力恒定。

## 6.2 知识讲座:矢量控制与转矩控制

### 6.2.1 闭环矢量控制方式

#### 1. 基本概念

有速度传感器的矢量控制方式(简称闭环矢量控制)主要用于高精度的速度控制、转矩控制、简单伺服控制等对控制性能要求严格的使用场合。在该方式下采用的速度传感器一般是旋转编码器,并安装在被控电动机的轴端,而不是像闭环 $V/f$ 控制安装编码器或接近开关那样随意。在很多时候,为了描述上的方便,就把有速度传感器的矢量控制方式称为闭环矢量控制或有PG反馈矢量控制。

闭环矢量控制方式的变频调速是一种理想的控制方式,它有许多优点。

- (1) 可以从零转速起进行速度控制,即使低速也能运行,因此调速范围很广,可达1 000:1;
- (2) 可以对转矩实行精确控制;
- (3) 系统的动态响应速度很快;
- (4) 电动机的加速度特性很好等。

#### 2. 编码器 PG 接线与参数

矢量变频器与编码器PG之间的连接方式必须与编码器PG的型号相对应。一般而言,编码器PG型号分差动输出、集电极开路输出和推挽输出三种,其信号的传递方式必须考虑到变频器PG卡的接口,因此选择合适的PG卡型号或设置合理的跳线至关重要。前者的典型代表是安川VS G7变频器,后者的典型代表为艾默生TD3000变频器。

以安川VS G7变频器为例,用于闭环矢量控制方式安装的PG卡类型主要有两种:

- PG-B2卡,含A/B相脉冲输入,对应补码输出,如图6.2所示。
- PG-X2卡,含A/B/Z相脉冲输入,对应线驱动,如图6.3所示。

艾默生TD3000变频器的PG卡是统一配置的,最高输入频率为120kHz,它与不同的编码器PG接线时,只需注意接线方式和跳线CN4。当跳线CN4位于DI侧时,可以选择

编码器信号由 A +、A -、B +、B - 差动输入 (见图 6.4) 或由 A +、B + 推挽输入 (见图 6.6); 当跳线 CN4 位于 OCI 侧时, 可以选择编码器信号由 A -、B - 开路集电极输入 (见图 6.5)。

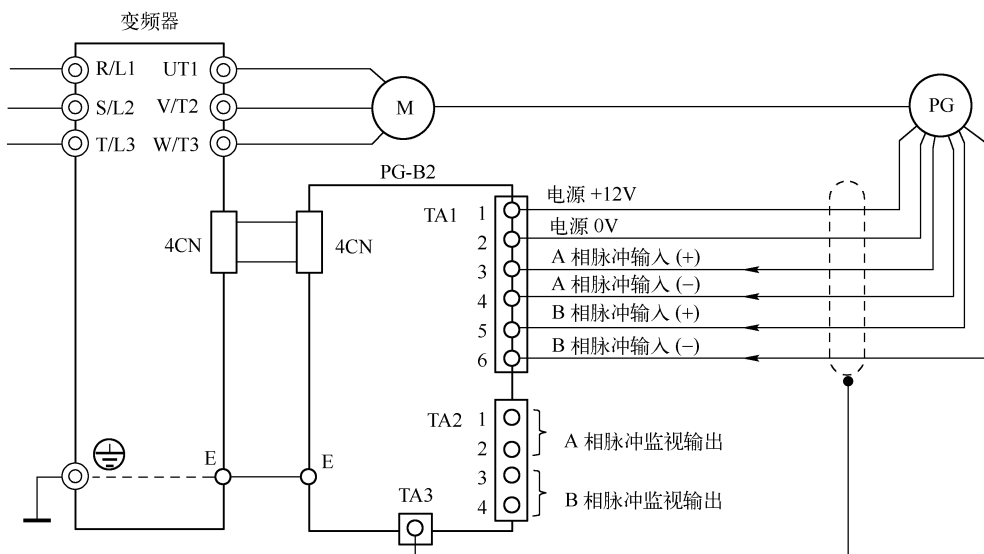


图 6.2 PG-B2 卡与编码器接线图

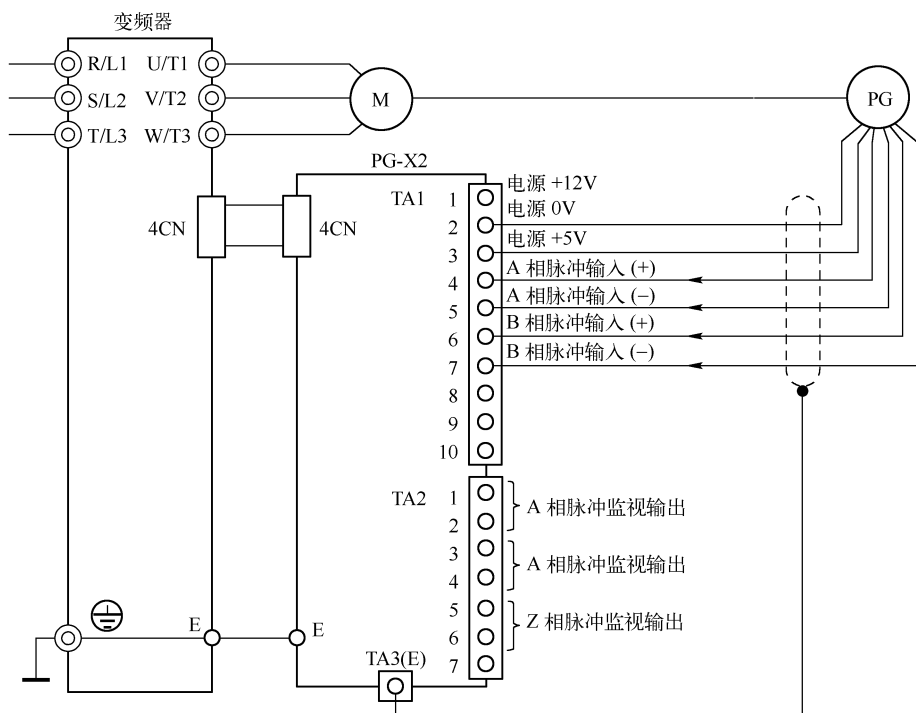


图 6.3 PG-X2 卡与编码器接线图

在变频器的参数组中对编码器 PG 都有比较严格的定义, 这些定义包括:

(1) 编码器 PG 每转脉冲数。此参数可以查看编码器本身的技术指标, 单位为 PPR。

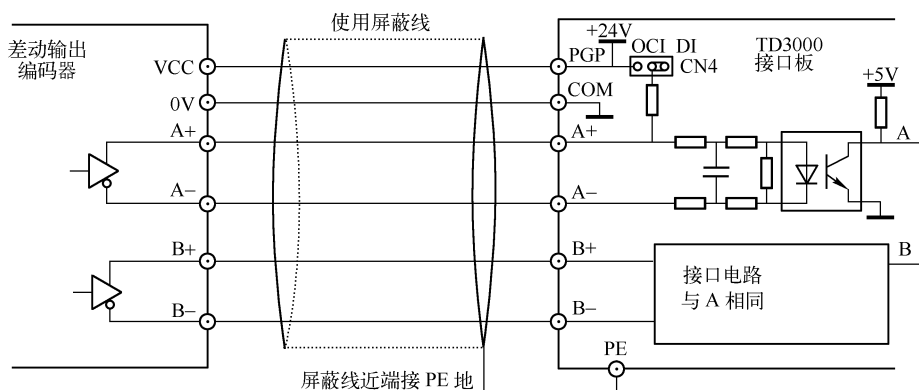


图 6.4 差动编码器接线图

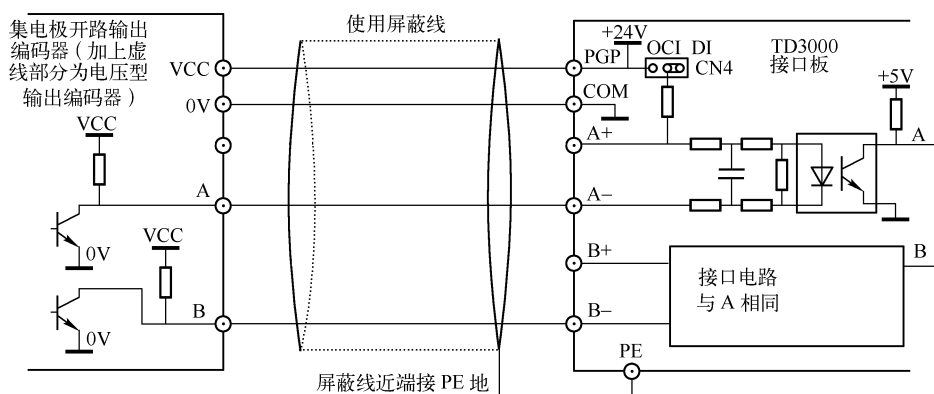


图 6.5 集电极开路编码器(加上虚线为电压型输出编码器)接线图

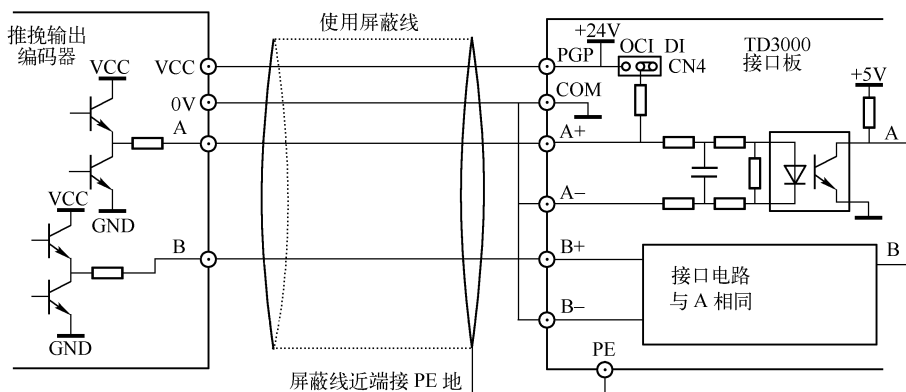


图 6.6 推挽编码器接线图

(2) 编码器 PG 方向选择。如果变频器 PG 卡与编码器 PG 接线次序代表的方向和变频器与电动机连接次序代表的方向匹配,设定值应为正向,否则为反向。必须注意当方向选择错误时,变频器将无法加速到所需要的频率,并报过流故障或编码器反向故障。更改



此参数可方便地调整接线方向的对应关系,而无须重新接线。

图 6.7 中所示为安川 VS G7 变频器的编码器 PG 方向选择示意图。编码器 PG 从输入轴看是顺时针方向 CW 旋转时,为 A 相超前;另外,正转指令输出时,电动机从输出侧看是逆时针 CCW 旋转。然而,一般的编码器 PG 在电动机正转时,安装在负载侧时为 A 相超前,安装在负载相反侧时为 B 相超前。

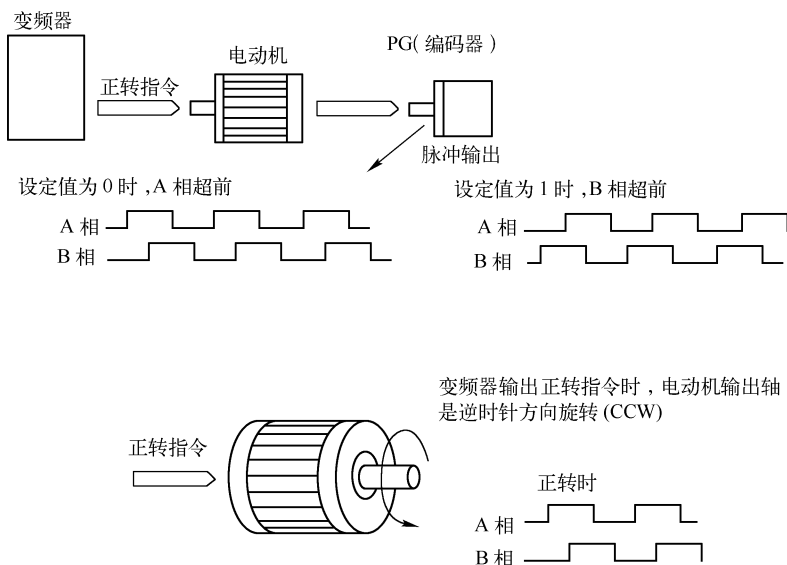


图 6.7 编码器 PG 的方向选择

(3) 编码器 PG 断线动作。如果编码器 PG 断线(PGO),变频器将无法得到速度反馈值,会立即报警且输出电压被关闭,电动机自由滑行停车,在停车过程中,故障将无法复位,直到停机为止。

(4) 编码器 PG 断线检测时间。一般为 10s 以下,以确认在此时间内编码器 PG 的断线故障是否持续存在。

(5) 零速检测值。本参数是为了检测编码器 PG 断线而定义的功能,当设定频率大于零速检测值,而反馈速度小于零速检测值,并且持续时间在编码器 PG 断线检测时间参数以上时,则变频器确认为编码器 PG 断线故障(PGO)成立。

(6) 编码器 PG 与电动机之间的齿轮齿数。本参数是为了适应编码器安装在齿轮电动机上的情况,可设定齿轮齿数。电动机转速公式由以下可以得出:

电动机速度(r/min) = (从编码器 PG 输入的脉冲数 × 60) × (负载侧齿轮齿数 / 电动机侧齿轮齿数) / 编码器 PG 的每转脉冲数

(7) 检出电动机的过速度。电动机超过规定以上的转速时,检出故障。通常设定 100% ~ 120% 的最大频率为检出过速度的基准值,如果在预定的时间内频率持续超出该值,则定义为电动机过速度故障(OS)。如发生该故障,变频器自由停车。

(8) 检出电动机和速度指令的速度差。定义电动机的实际速度和设定速度的差值为速度偏差,如果在一定的时间内其速度偏差值持续超出某一范围值(如 10% 时),则检出速度偏差过



大(DEV)。如发生该故障,变频器可以按照预先设定的故障停机方式停机。

### 3. 闭环矢量控制与闭环 $V/f$ 控制的区别

闭环矢量控制与闭环  $V/f$  控制在安装编码器 PG 上有共同点,而且都有类似的 PID 环以及相应的参数设置,好像给人一种雷同的感觉。但两者存在着很大的区别,主要一点在于前者是矢量控制,而后者属于传统的  $V/f$  控制。

下面对比一下闭环矢量控制与闭环  $V/f$  控制的原理框图,分别如图 6.8、图 6.9 中所示。矢量控制时的速度控制 ASR 是把速度指令和速度反馈信号进行差值比较,然后进行 PI 控制后,经过一定的滤波时间,再经过转矩限定,输出转矩电流,进入转矩环控制;而闭环  $V/f$  控制是将速度指令和速度反馈信号的偏差调为零,PID 的结果只是去直接控制变频器的频率输出。

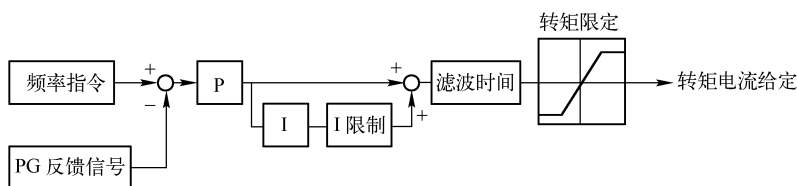


图 6.8 闭环矢量控制原理框图

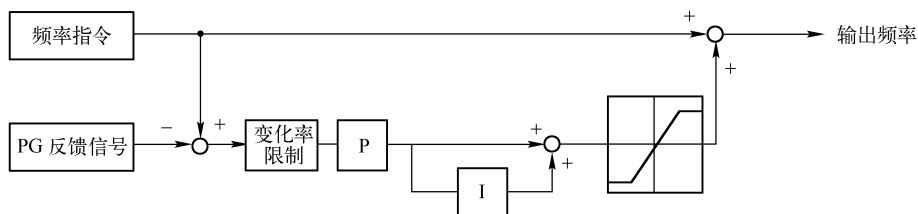


图 6.9 闭环  $V/f$  控制原理框图

除了控制原理上的区分外,闭环矢量控制与闭环  $V/f$  控制还有以下几点不同。

(1) 控制精度不同。闭环矢量控制的速度控制精度能达到 0.05%,而闭环  $V/f$  控制则只有 0.5% (相当于无传感器矢量控制的水平)。

(2) 启动转矩不同。闭环矢量控制的启动转矩可达到 200%/0Hz,而闭环  $V/f$  控制则只有 180%/0.5Hz。

(3) 安装方式不一样。闭环矢量控制的编码器安装要求非常严格,必须与电动机或齿轮电动机的轴一致;而闭环  $V/f$  控制则可以安装在传动点的任意一个位置。

(4) 编码器选型不一样。带速度传感器矢量的编码器要求比较严格,通常都要求二相输入;而闭环  $V/f$  控制则可以只要求一相输入,甚至可以用高性能接近开关替代。

(5) 编码器断线停机方式不一样。闭环矢量控制的编码器断线故障检出后,将不得不自由停车;而闭环  $V/f$  控制还可以在频率指令下继续运行开环  $V/f$  控制。

### 4. 速度环滤波常数

所谓速度环滤波常数,是为了调整速度调节器 ASR 输出力矩电流、电流采样及速度



反馈的滤波时间而设置的。由于闭环矢量控制中的编码器 PG 信号受干扰的因素比较多,如编码器与变频器的连接线路过长,电动机轴振动厉害等,这些都会造成速度反馈信号出现偏差。因此,在干扰信号比较大的情况下,可以加大速度环滤波时间常数。

速度调节器 ASR 的输出为变频器力矩电流指令,速度环滤波时间常数是指数力矩电流指令的滤波时间。速度环滤波时间常数大,变频器的输出力矩变化平滑,但响应慢;速度环滤波时间常数小,变频器的输出力矩变化可能较大,但响应快。

## 6.2.2 变频器的转矩控制原理

### 1. 基本概念

采用矢量控制方式的通用变频器不仅可在调速范围上与直流电动机相匹配,而且可以控制异步电动机产生转矩。

### 2. 转矩控制功能结构

转矩控制根据不同的数学算法其功能结构也不同,图 6.10 所示是一种典型的采用矢量方式实现的转矩控制功能框图。先是根据转矩设定值计算出转差频率,并与变频器获得的反馈速度(一般用编码器 PG)或是直接推算的电动机速度相加,在速度限制下输出同步频率。很显然,在转矩控制方式下,速度调节器 ASR 并不起直接作用,也无法控制速度。

转矩控制时,变频器的输出频率自动跟踪负载速度的变化,但输出频率的变化受设定的加速和减速时间影响,如需要加快跟踪的速度,需要将加速和减速时间设得短一些。

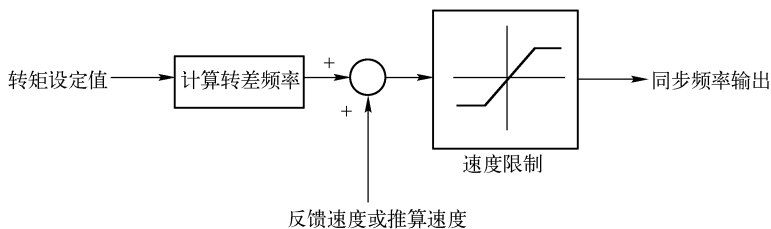


图 6.10 转矩控制功能框图

转矩分正向转矩和反向转矩,其设定可以通过模拟量端子的电平来决定,该转矩方向与运行指令的方向(正转和反转)无关。当模拟量信号为  $0 \sim 10\text{V}$  时,为正转矩,即电动机正转方向的转矩指令(从电动机的输出轴看是逆时针转);当模拟量信号为  $-10\text{V} \sim 0$  时,为负转矩,即电动机反转方向的转矩指令(从电动机的输出轴看是顺时针转)。

### 3. 转矩控制和速度控制的切换

由于转矩控制时不能控制转速的大小,所以,在某些转速控制系统中,转矩控制主要用于启动或停止的过渡过程中。当拖动系统已经启动后,仍应切换成转速控制方式,以便控制转速。



切换的时序图如图 6.11 所示。

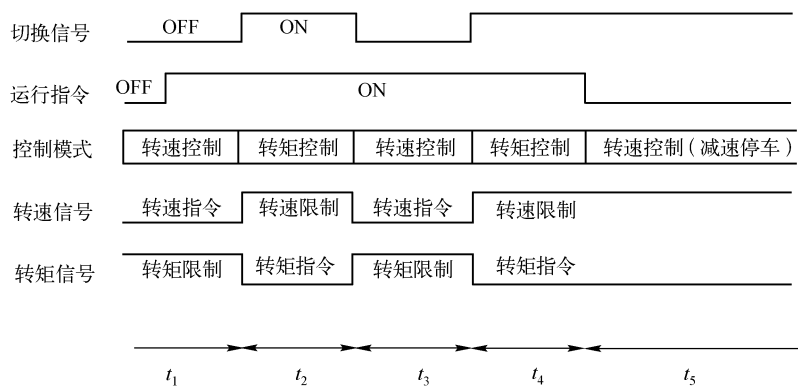


图 6.11 转矩控制和转速控制切换的时序图

- (1)  $t_1$ 时段:变频器发出运行指令时,如未得到切换信号,则为转速控制模式。变频器按转速指令决定其输出频率的大小。同时,可以预置转矩上限。
- (2)  $t_2$ 时段:变频器得到切换至转矩控制的信号(通常从外接输入电路输入),转为转矩控制模式。变频器按转矩指令决定其电磁转矩的大小。同时,必须预置转速上限。
- (3)  $t_3$ 时段:变频器得到切换至转速控制的信号,回到转速控制模式。
- (4)  $t_4$ 时段:变频器再次得到切换至转矩控制的信号,回到转矩控制模式。
- (5)  $t_5$ 时段:变频器的运行指令结束,将在转速控制模式下按预置的减速时间减速并停止。

如果变频器的运行指令在转矩控制下结束,变频器将自动转为转速控制模式,且按预置的减速时间减速并停止。

4. 转矩控制与限转矩功能

在转矩控制中,经常会与速度控制下的限转矩功能搞混淆。所谓转矩限定,就是用来限制速度调节器 ASR 输出的转矩电流。

定义转矩限定值 0% ~ 200% 为变频器额定电流的百分数;如果转矩限定 = 100%,即设定的转矩电流极限值为变频器的额定电流。图 6.12 所示为转矩限制功能示意图, $F_1$ 、 $F_2$ 分别限制电动和制动状态时输出转矩的大小。

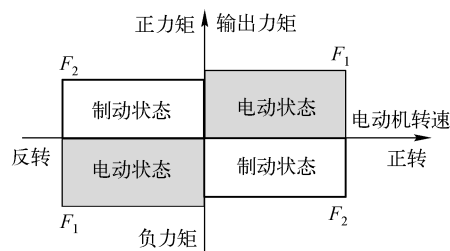


图 6.12 转矩限制功能图





再生制动状态运行时,应根据需要的制动转矩适当调整再生制动限定值  $F_2$ ,在要求大制动转矩的场合,应外接制动电阻或制动单元,否则可能会产生过压故障。

对于转矩限制值,一般可以通过两种方式进行设定。一种是通过参数设定,变频器都提供了相应的参数,如安川 VS G7 的 L7-01 ~ L7-04 可以分别设定四个象限的转矩限定值。另外一种就是通过模拟量输入设定,用输入量的 0 ~ 10V 或 4 ~ 20mA 信号对应 0% ~ 200% 的转矩限定值。

对于转矩限定值的设定,必须注意以下几点。

(1) 转矩极限功能启动时,应转矩控制优先,所以电动机转速的控制与修正无效。因此会有增加加减速时间、电动机转速降低的现象发生。

(2) 在升降负载使用转矩极限时,请勿随意降低转矩极限值,这样会有落下和滑落的危险。

(3) 转矩极限的精度,在输出频率 10Hz 以上时精度可以达到  $\pm 5\%$ ,输出频率低于 10Hz 时精度会有所降低。

## 6.2.3 ABB 变频器的 DTC 方式

### 1. 基本概念

直接转矩控制也称为“直接自控制”,这种“直接自控制”的思想是以转矩为中心来进行磁链、转矩的综合控制的。和矢量控制不同,直接转矩控制不采用解耦的方式,从而在算法上不存在旋转坐标变换,它简单地通过检测电动机定子电压和电流,借助瞬时空间矢量理论计算电动机的磁链和转矩,并根据与给定值比较所得的差值,实现磁链和转矩的直接控制。

直接转矩控制技术利用空间矢量、定子磁场定向的分析方法,直接在定子坐标系下分析异步电动机的数学模型,计算与控制异步电动机的磁链和转矩,采用离散的两点式调节器(Band-Band 控制),把转矩检测值与转矩给定值作比较,使转矩波动限制在一定的容差范围内。容差的大小由频率调节器来控制,并产生 PWM 脉宽调制信号,直接对逆变器的开关状态进行控制,以获得高动态性能的转矩输出。它的控制效果不取决于异步电动机的数学模型是否能够简化,而是取决于转矩的实际状况,它不需要将交流电动机与直流电动机作比较、等效、转化,即不需要模仿直流电动机的控制。由于它省掉了矢量变换方式的坐标变换与计算和为解耦而简化异步电动机数学模型,没有通常的 PWM 脉宽调制信号发生器,所以它的控制结构简单,控制信号处理的物理概念明确,系统的转矩响应迅速且无超调,是一种具有高静、动态性能的交流调速控制方式。

与矢量控制方式比较,直接转矩控制磁场定向所用的是定子磁链,它采用离散的电压状态和六边形磁链轨迹或近似圆形磁链轨迹的概念。只要知道定子电阻就可以把它观测出来。而矢量控制磁场定向所用的是转子磁链,观测转子磁链需要知道电动机转子电阻和电感。因此直接转矩控制大大减少了矢量控制技术中控制性能易受参数变化影响的问题。直接转矩控制强调的是转矩的直接控制与效果。与矢量控制方法不同,它不是通过



控制电流、磁链等量来间接控制转矩的,而是把转矩直接作为被控量,对转矩进行直接控制,既直接又简化。

直接转矩控制对交流传动来说是一个优秀的电动机控制方法,它可以对所有交流电动机的核心变量进行直接控制。它开发出交流传动前所未有的能力并给所有的应用提供了益处。在 DTC 中,定子磁通和转矩被作为主要的控制变量。高速数字信号处理器与先进的电动机软件模型相结合使电动机的状态每秒钟被更新 40 000 次。由于电动机状态以及实际值和给定值的比较值被不断地更新,逆变器的每一次开关状态都是单独确定的。这意味着传动可以产生最佳的开关组合并对负载扰动和瞬时掉电等动态变化做出快速响应。在 DTC 中不需要对电压、频率分别控制的 PWM 调制器。

目前应用直接转矩控制 DTC 技术的主要是 ABB 公司的 ACS800 等系列变频器,因此这里主要介绍 ACS800 变频器的参数设置。

参数 99.04 为电动机控制模式选择,可以选择“0”表示 DTC 直接转矩控制方式和“1”表示 SCALAR 标量控制。标量控制即本节所叙述的  $V/f$  控制方式,为了描述上的统一,这里也称为  $V/f$  控制方式。

在大部分 ACS800 的使用场合选择 DTC 直接转矩控制方式,而  $V/f$  控制方式则适合于不能使用直接转矩控制的一些特殊场合,在下述情况下推荐使用  $V/f$  控制方式。

- (1) 用在电动机数可变和多台电动机的场合,如负载不是由两台电动机均衡负担的,电动机功率不同;
- (2) 当电动机的额定电流小于 ACS800 变频器额定输出电流的六分之一时;
- (3) 变频器无电动机连接,用于测试目的时;
- (4) 变频器驱动变压器负载时,即变频器的输出侧接升压或降压变压器,而变压器后再接电动机的;
- (5) 在电动机进行识别之后准备更换电动机的。

直接转矩控制需基于在电动机启动期间所建立的精确电动机模型。在首次启动电动机时,变频器会自动进行电动机励磁识别,期间,电动机在零速时励磁数秒以建立电动机模型,这种识别方法适用于大多数应用场合。在要求严格的应用场合,还要执行一次单独的识别运行。

## 2. DTC 直接转矩控制的速度控制性能

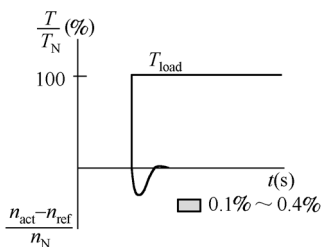
ABB 公司的 ACS800 能够对速度进行精确的控制,根据不同的速度精度可以选择无脉冲编码器和有脉冲编码器两种。表 6.1 给出了在使用 DTC 直接转矩控制时的典型速度性能指标。

表 6.1 直接转矩控制速度性能指标

速度控制性能	无脉冲编码器	有脉冲编码器
静态速度误差( $n_N\%$ )	$\pm 0.1\% \sim 0.5\%$ (额定滑差率的 10%)	$\pm 0.01\%$
动态速度误差	0.4%	0.1%



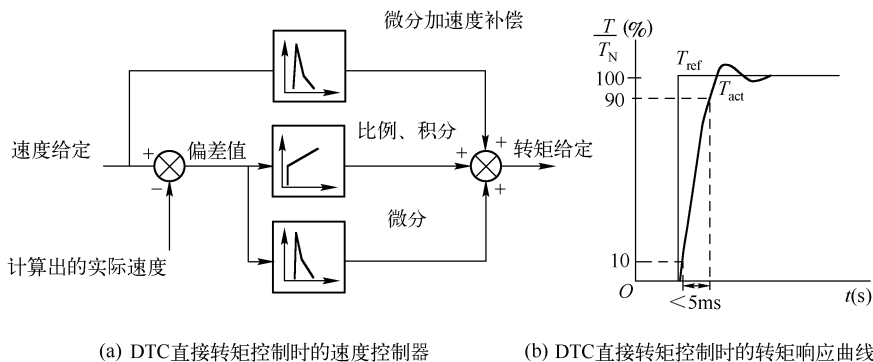
其中动态速度误差依赖于速度控制器的参数整定,图 6.13 所示为动态速度响应曲线。



$T_N$ —电动机额定转矩; $n_N$ —电动机额定速度; $n_{act}$ —实际速度; $n_{ref}$ —设定速度

图 6.13 DTC 直接转矩控制时的动态速度响应曲线

在参数组 23 中可以对速度控制器进行 PID 变量设定,速度控制器的原理见图 6.14(a),该控制器包含了比例、微分、积分和微分加速度补偿,其经过 PID 作用后的输出作为转矩控制器的给定信号。



(a) DTC 直接转矩控制时的速度控制器

(b) DTC 直接转矩控制时的转矩响应曲线

$T_N$ —电动机额定转矩; $T_{ref}$ —设定转矩; $T_{act}$ —实际转矩

图 6.14 DTC 直接转矩控制

速度控制器的参数内容包括以下几方面。

- (1) 增益参数:定义速度控制器的比例增益,如增益过大可能引起速度波动。
- (2) 积分时间参数:定义速度控制器的积分时间,即在偏差阶跃信号下,控制器输出信号的变化率。积分时间越短,连续偏差值的校正就越快,但是如果太短,就会造成控制不稳定。
- (3) 微分时间参数:定义速度控制器的微分时间,即在偏差值发生改变的情况下增加控制器的输出。微分时间越长,在偏差改变的过程中,控制器的输出速度就越快。微分作用使控制对扰动的敏感度增加。
- (4) 加速补偿的微分时间:在加速过程中为了补偿惯性,将给定变化量的微分加到速度控制器的输出中。
- (5) 滑差增益:定义了电动机滑差补偿控制的滑差增益,100% 表示完全滑差补偿,



0% 表示零滑差补偿。

速度控制器的参数值能在电动机辨识(与矢量控制的电动机辨识相同)整定期间进行自动调节,当然也可以手动整定控制器的相关参数,或是让变频器单独执行一次速度控制器自动整定运行。

3. DTC 直接转矩控制的转矩控制性能

直接转矩控制技术对于转矩的控制非常出色,即使不使用任何来自电动机轴上的速度反馈,变频器也能进行精确的转矩控制。当然,由于在无脉冲编码器情况下的直接转矩控制在零频附近运行时线性误差和可重复性误差可能会较大,对于需用在此频段内的负载,建议采用有脉冲编码器的直接转矩控制。表 6.2 显示了 ABB 变频器 ACS800 在使用直接转矩控制时的典型转矩控制性能指标。

表 6.2 直接转矩控制转矩性能指标

转矩控制性能	无脉冲编码器	有脉冲编码器
线性误差	±4%	±3%
可重复性误差	±3%	±1%
转矩上升时间	1~5ms	1~5ms

如图 6.14(b)所示为 DTC 直接转矩控制方式下的转矩响应曲线。

对于参数的设置,首先必须在参数 99.02 中选择应用程序宏设定为 T-CTRL 转矩控制宏,将参数 99.04 定义为 DTC 直接转矩控制,然后在参数组 24 中对转矩控制进行设定,参数内容包括:

- (1) 转矩给定的斜坡上升时间:就是从零增加到额定电动机转矩的时间;
- (2) 转矩给定的斜坡下降时间:就是从额定电动机转矩下降到零的时间。

转矩控制宏一般应用于需要控制电动机转矩的场合,如啮合辊控制、张力控制等。其默认的接线方式是:转矩给定值由模拟量输入口以电流信号提供,0mA 对应 0%,20mA 对应 100% 的电动机额定转矩。

6.2.4 典型的张力控制系统

在工业生产的很多行业中,都需要进行精确的张力控制,保持张力的恒定,以提高产品质量。这些行业如造纸、包装、印刷、染整、线缆、纤维、橡胶等片材、线材和带材的加工和制造。从行业的发展趋势看,张力系统在很多应用领域中是控制产品质量和生产效率的重要因素,并将得到越来越多的重视。

图 6.15 所示为典型的张力控制收卷和放卷示意图。

张力控制系统,其基本元件包括张力控制器、离合器及制动器。张力控制可以分成手动控制和自动控制。手动控制器即稳流电流是依收料或出料的变化而分阶段手动调整离合器或制动器的激磁电流,从而获得一致的张力的。自动张力控制器由张力传感器检测张力,控制器把张力数据处理后再去自动调整离合器或制动器的激磁电流,从而控制卷绕



物的张力。在放卷端,放料的张力是依设于放料组的磁粉制动器的扭矩而定的。在收卷端,收料张力由磁粉离合器的传递扭矩来决定,为要保持固定的张力,须按卷径的大小来加大或减小传递扭矩。自动张力控制器是以单片机为核心的一种新型智能张力控制器,其响应速度快,控制精度高,LED 数字显示张力值,手动/自动两种状态能缓冲无断点切换,使运转更加平滑;在自动状态下如卷绕物意外断裂或整机停机,该控制器能自动保持断点时的张力。

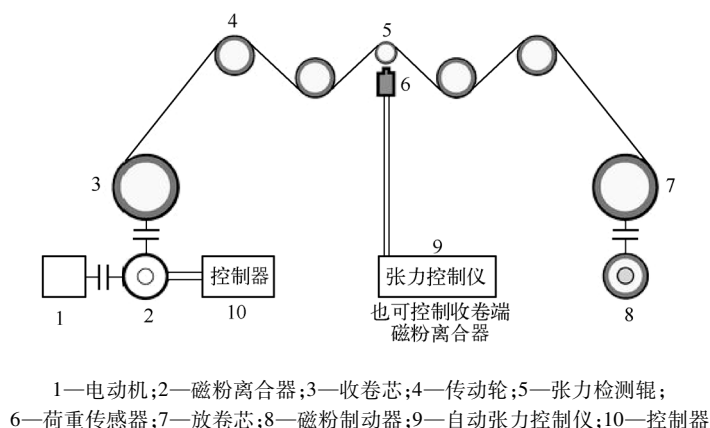


图 6.15 张力控制收卷和放卷示意图

自动张力控制器启动后自动进入手动状态,而后如果触发手动/自动键,则自动灯亮,控制器进入自动状态;再触发则又返回到手动状态。在手动状态下,可以在额定范围内调节输出电流的大小,同时可以观察到实际张力的大小变化。也可以调节设定张力的张力值,当加调节键或减调节键按下时,设定张力将改变。无论在手动状态还是自动状态,如果按下存储键,则都把当前的设定张力值和加载电流值保存,即使断电后,也仍被存储。当系统复位或重新启动时,设定张力和输出电流将自动恢复成存储值。

### 1. 张力传感器和张力信号

张力传感器的功能就是能在生产过程中对片材、线材、带材及其他类似产品的张力进行在线连续测量,并能提供瞬时值。

常见的张力传感器主要有以下几种。

(1) 承座式张力传感器。它是对张力直接进行检测,与机械紧密地结合在一起,没有移动部件的检测方式。通常两个传感器配对使用,将它们装在检测导辊两侧的端轴上,料带通过检测导辊施加负载,使张力传感器敏感元件产生位移或变形,从而检测出实际张力值,并将此张力数据转换成张力信号反馈给张力控制器,最终实现张力闭环控制。其优点是检测范围宽,响应速度快,线性好。缺点是不能吸收张力的峰值,机械的加减速难以处理,不容易实现高速切换卷等。因此,当处于平衡状态的张力控制系统受到较强的干扰时,系统瞬间来不及做出反应,料带上张力变化的幅度值会较大,对张力控制尽快重新进入平衡状态不利。



张力传感器放置在辊子的支持轴承下方,由刚性材料做成,它只对水平方向的张力起作用。当一定张力的片材通过该辊时,片材所受到的张力分成两部分(水平方向的力  $F_R$  和垂直方向的力  $F_V$ )。如图 6.16(a)所示,设张力为  $T$ ,  $F_T$  为辊子和轴承的重力,  $\alpha$ 、 $\beta$  为片材的夹角,则

$$F_R = T(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$F_V = T(\sin\alpha - \sin\beta) + F_T$$

根据张力传感器的值  $F_R$  就可以计算出该片材此时的张力值  $T$ 。

承座式张力传感器一般由特殊的刚性材料做成,如 ABB 公司的 PFTL101A、101B 系列传感器是由 CrMoS17 组成的特殊不锈钢材料做成的。其工作原理通常有以下三种。

① 压磁式。该张力传感器的初级线圈和次级线圈正确通过传感器的四个孔(其中初级线圈为激励线圈,次级线圈为感应线圈)。在正常情况下(无水平张力),初级线圈的感应磁场如图 6.16(b)所示,由于孔的合理放置,次级线圈无感应电压产生。当水平张力  $T$  作用在传感器上时,初级线圈的电磁场就会产生变化,从而次级线圈就会感应出相应的电压,如图 6.16(c)所示。一旦水平张力作用改变方向,次级线圈的电压极性也相应改变。张力传感器的激励信号为 330Hz、0.5A 的交流信号,张力作用的大小反映在输出信号的幅度上,张力的方向则反映在输出信号的极性上。信号放大器的作用就是先过滤为 DC 信号,然后通过增益运算放大器,最后可以选择适当的加法器、减法器 etc 输出张力控制所需的纸幅 A 侧张力信号、B 侧张力信号、A 侧 + B 侧的张力之和信号和 A 侧 - B 侧的张力之差信号。

该类型传感器通常是由两块铁板和四片弹性钢片连接组成的。四片弹性钢片用来吸收垂直方向的分力,磁性测量元件安装在中间两片钢片的当中,使测力计只对测量方向上的机械应力敏感。在测量过程中,磁弹性元件由于受机械应力的变化,将产生磁性材料的导磁性能变化。该元件由一种经过特殊技术处理过的多片金属薄片组成。在元件上绕有两个交叉而互成垂直角度的线圈,在没有外界机械应力时,因为两个线圈相互垂直,故不会出现磁耦现象,即在次级线圈上不会产生感应电压。当磁性元件在测量方向上受到机械应力时即出现磁耦现象。在次级线圈上产生与机械力成正比的感应交流电压信号,通过信号处理,输出一个与机械力大小成正比的张力信号。

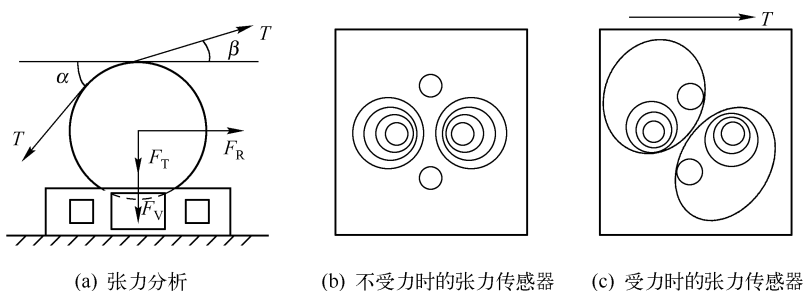


图 6.16 张力传感器的测量原理和工作原理



② 压敏电阻型。该传感器安装于轴承和机架之间,记录水平方向的卷筒张力,采用相应的放大器来进行全桥电压供给和测量信号的处理。放大器输出端的信号和径向作用力成比例,可用于数字显示或作为闭环回路的瞬时值。如美国蒙特福 T 系列就属于压敏电阻型。

③ 板簧式。板簧式微位移张力传感器的优点是检测范围宽,响应速度快,线性好。缺点是不能吸收张力的峰值,机械的加减速难以处理,不容易实现高速切换卷等。因此,当处于平衡状态的张力控制系统受到较强的干扰时,系统瞬间来不及作出反应,料带上张力变化的幅度值会较大,对张力控制尽快重新进入平衡状态不利。如日本三菱 LX-TD 型就属于板簧式微位移张力传感器。

(2) 浮辊式(Dancer Arm)张力检测方式。它是一种间接的张力检测方式,实质上是一种位置控制,当张力稳定时,料带上的张力与汽缸作用力保持平衡,使浮辊处于中央位置。当张力发生变化时,张力与汽缸作用力的平衡被破坏,浮辊位置会上升或下降,此时摆杆将绕  $M$  点转动并带动浮辊电位器一起转动。这样,浮辊电位器准确地检测出浮辊位置的变化,它将以位置信号方式反馈给张力控制器,控制器经过计算并输出控制信号,控制伺服驱动系统进行纠偏。然后浮辊恢复到原来的平衡位置。由于浮辊式张力检测装置本身是一种储能结构,利用其自身的惯性作用,对大范围的张力跳变有良好的吸收缓冲作用,同时也能减弱料卷的偏心(椭圆)以及速度变化对张力的影响。此系统要求汽缸摩擦系数小,响应速度快,气源稳定。浮辊和摆杆的重量要轻,转动要灵活。

① 浮辊/反馈复合式张力检测方式。它可同时检测由浮辊电位器输出的浮辊位置信号和张力传感器输出的张力信号,从而可向系统提供更高精度的张力控制。其特点是:它不但具有浮辊控制对大范围张力跳变的吸收或缓冲功能,而且还对机器加、减速时有很好的缓冲平稳作用,并容易实现高速切换卷,具有张力传感器闭环控制的高精度、高重复性的特点。例如美国蒙特福(MONTALVO)公司的 X/D3000 型浮辊/反馈复合式张力控制装置就属于该种类型。

② 由卷径得出的张力检测方式。它用安装在卷轴处的接近开关检测出卷轴的转速,并通过所设定的卷轴直径初始值和材料厚度,累积计算求得收卷或放卷筒当前的直径,相应卷径的变化输出控制信号,以控制收卷转矩或放卷制动转矩,从而调整料带的张力。因为卷轴每转一圈,卷径会发生 2 倍于料带厚度的变化,此种张力控制不受外界刺激的影响,能实行稳定的张力控制。

## 2. 张力控制与变频

(1) 张力控制原理。以造纸机的张力控制为例,在图 6.17(a)所示的张力控制示意图中,传动电动机 M 的张力实际值是位于它前面的张力传感器的实际值。通过检测该处的张力情况,来控制传动电动机 M 的速度,从而形成一个张力闭环。电动机 M 的速度加快,则纸幅拉紧,张力的实际值就会上升;相反,速度降低,则纸幅松垂,张力的实际值就下降。

在这里,纸幅张力的设定值为  $T_{\text{设定}}$ ,实际值为  $T_{\text{实际}}$ ,经过张力控制器( $T$ -控制)的 PID

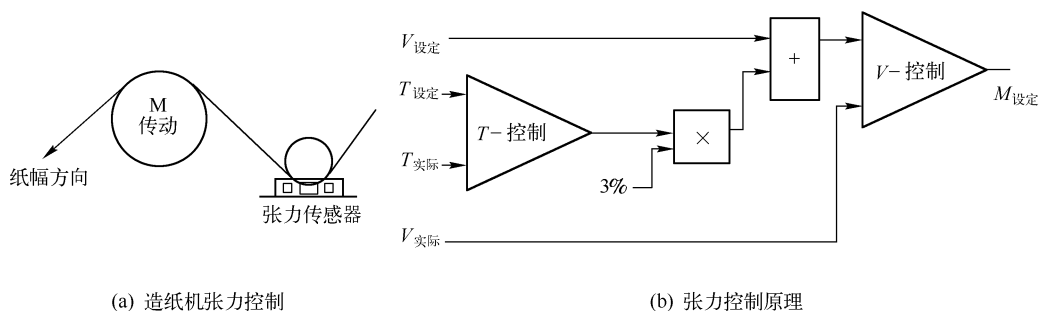


图 6.17 张力控制示意图

调节器后,再乘以 3% 的偏移量,作为该传动点速度设定值的一个组成部分。原来传动的速度设定值( $V_{\text{设定}}$ )加上该组成部分,就是速度环( $V$ -控制)的输入值,然后即可进行速度控制。在这里设置 3% 偏移量的目的就是通过对传动速度的改变而使张力得到有效的控制。

在图 6.17(b)所示的张力控制原理中, $T$ -控制就是张力控制模块的实现,包括自动和手动两种方式。张力控制模块投运前需先检测判定现在的张力实际值是否在可投运的范围之内,否则就不能投运,此时按手动投运按钮或当自动投运信号为“1”时,即进入张力控制模块的循环中。张力 PID 模块的退出,它的条件为相关部位检测到断纸信号或按手动退出按钮。

(2) 张力控制软件流程。这里以某一点的张力控制为例,采用 PLC 语言编程进行张力软件的设计,其示意如图 6.18 所示。由此可以推广到多点张力控制中去。

① 读取张力设定值。张力设定值的输入可从工艺控制台上进行,并可通过脉冲开关的动作对设定值微调,以符合实际纸幅稳定运行的需要。

② 读取张力实际值。张力实际值的产生是从 PLC 的模拟量板中获取的,调用相应的功能块程序。本过程读取张力的模拟量值后,在输出端得到标准化的量值,并可通过“高限”和“低限”参数来设置量程。从模拟量输入板读出的模拟量值首先变换为右边对齐的定点数(以标称范围为基础)。

③ 张力控制投入判断。张力控制是否投入取决于工艺的需要和纸幅是否已经上卷,纸幅是否断裂,在其他逻辑块中进行手动按钮投入或自动信号投入的设定,以及自动退出。因此这里需要判断张力控制是否投入,如已投入,则进入张力 PID 控制模块,否则就只显示数值和信息,不进行控制。

④ 张力 PID 控制模块。张力 PID 控制模块可以调用标准的功能块,以执行闭环控制系统。PID 算法是在特殊的时间采样分隔下调用的,并产生操作变量。采样间隔时间越短观察得越精确,控制器完成任务就越精密。因此,在接口数据块中指定的控制参数必须适应于采样周期。

⑤ 显示张力设定实际值。负责将张力的设定值和实际值显示在工艺控制台上。

⑥ 分析效果信息提示。在软件设计中,应该对张力系统的实际运行效果进行分析并提示信息。





- 断纸状态时,如果检测到某点的张力实际值与基准零点的偏差值过高则显示“张力零点偏移”。出现该情况的可能原因有张力传感器检测故障,张力信号放大器零位漂移,轴承支座卡死等。
- 正常出纸时,张力瞬时值超过设定值过高,达到设定值的 2 倍以上时,此时提示“张力实际值 HH”。出现该情况将预示该处纸幅紧度过高将引起断纸。
- 正常出纸时,张力控制器的输出值振幅过宽,此时提示“张力控制输出值 HH”。出现该情况表明纸幅纵向波动大,需对多点的速度值进行调整。

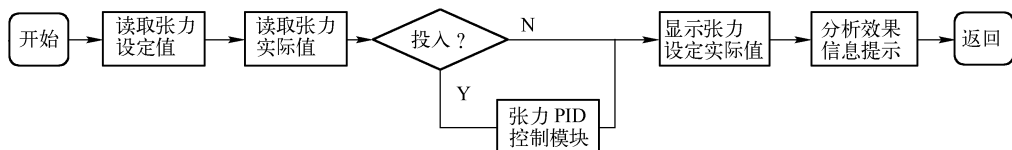


图 6.18 张力控制软件流程图

在某纸厂的多点纸幅张力控制中,我们选取了其中的一点进行测试(如图 6.19 所示)。横坐标为时间,纵坐标为张力实际值的百分比。以断纸时间开始(0s),一直处于纸幅断裂状态,则张力实际值一直为“0”;从 44s 开始进行引纸,随着纸幅从半幅到全幅,张力实际值也逐渐快速上升并呈不规则波动;在 98s 时,进行张力控制模块的投运,因为是 PID 控制,先出现明显的超调和振荡,然后超调量减小,最后张力的实际输出值慢慢接近设定值(67%)。当然,选取合适的参数值甚至再增加合适的回路,将会进一步减少超调量和振荡周期,使纸幅的张力值稳定在允许的范围之内。

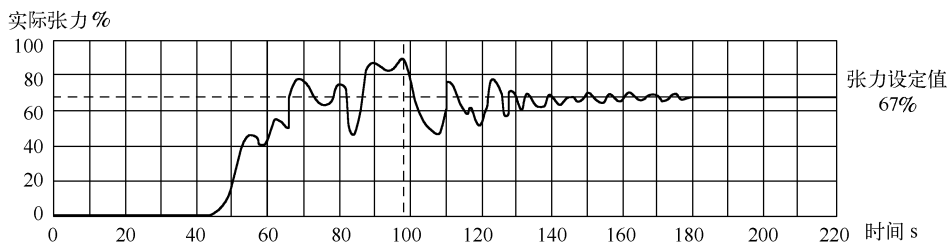


图 6.19 张力控制效果

## 6.3 技能训练一:变频器 A700 矢量控制与转矩控制

### 6.3.1 A700 变频器的编码器接口卡 FR-A7AP 操作

通过附带编码器的电动机和变频器内置选件的 FR-A7AP 的组合,可以进行闭环矢量控制与转矩控制。在三菱变频器中,PG 编码器往往被说成 PLG 编码器,为了使用三菱产品和理解上的方便,仅在本项目中会特别使用“编码器 PLG”这个词汇,在其他项目中,PG 等同于 PLG。



1. FR-A7AP 的外观和各部分的名称

图 6. 20 所示为编码器接口卡 FR-A7AP 的正面,它包括了接线用的端子台和 SW1 ~ SW3 三个跳线。

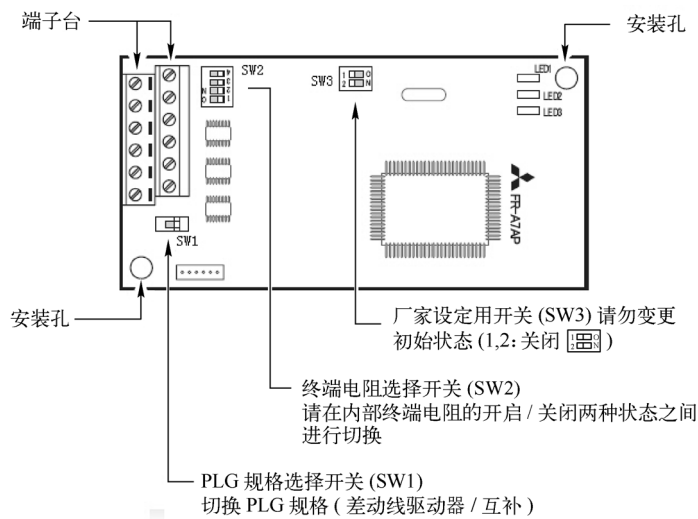


图 6. 20 编码器接口卡 FR-A7AP 的正面

2. FR-A7AP 的端子分布 (如表 6. 3 所示)

表 6. 3 FR-A7AP 的端子分布

端子记号	端子名称	用途说明
PA1	PLG A 相信号输入端子	输入源于 PLG 的 A 相、B 相、Z 相信号
PA2	PLG A 相反转信号输入端子	
PB1	PLG B 相信号输入端子	
PB2	PLG B 相反转信号输入端子	
PZ1	PLG Z 相信号输入端子	
PZ2	PLG Z 相反转信号输入端子	
PG	PLG 电源(上侧)输入端子	PLG 用电源输入端子。请连接外部电源(5V、12V、15V、24V)及 PLG 的电源线
SD	PLG 电源接地端子	
PIN	不使用	
P0		

3. SW1 和 SW2 跳线设置

PLG 规格选择开关(SW1)进行差动线驱动器、互补的选择。初始状态为差动线驱动器。  
终端电阻选择开关 (SW2) 进行内部终端电阻的 ON/OFF 的选择。PLG 输出类型为差动线驱动器时请设成“ON”(初始状态),为互补时请设成“OFF”。

4. 差动式和互补式编码器接线

图 6. 21 所示为差动式编码器接线,其中 DC 电源根据编码器型号选择 5V 或 12V。

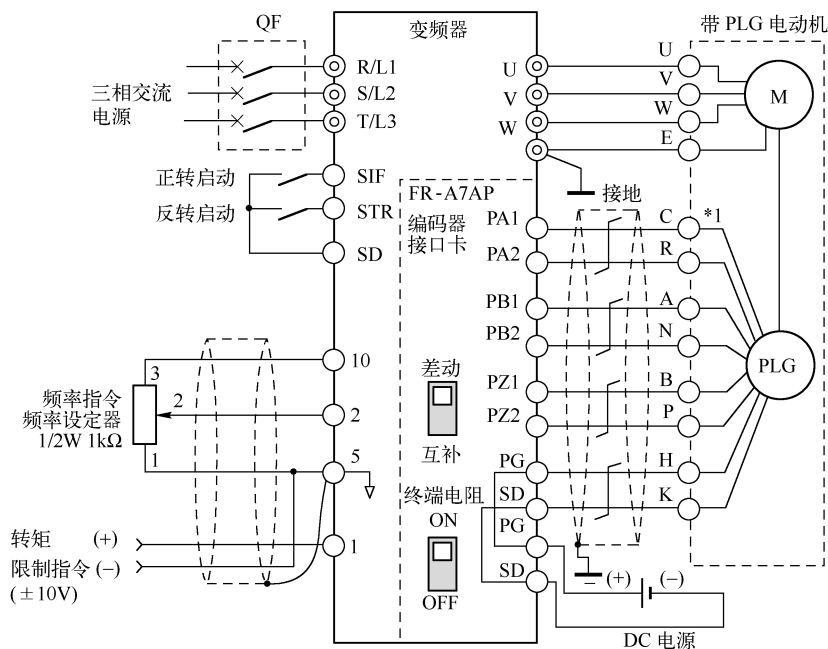


图 6.21 差动式编码器接线

与差动式接线不同,互补式接线相对简单,如图 6.22 所示。

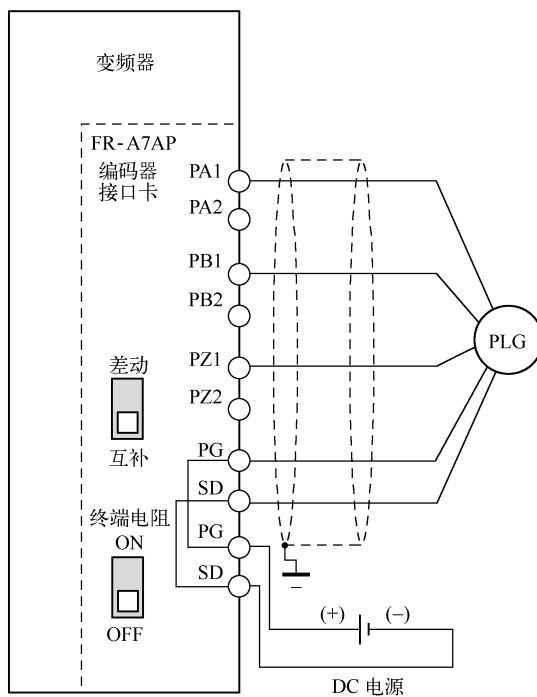


图 6.22 互补式编码器接线



PLG 电缆布线时,请使用屏蔽双绞线(0.2mm<sup>2</sup> 以上),根据布线的长度不同对于端子 PG 及 SD 的布线可多股并列(并联)连接,或采用较粗尺寸的电缆。为了免受噪声的影响,应远离噪声源(主回路、电源电压等)进行布线。为了降低对 PLG 电缆的噪声,PLG 的屏蔽线应通过金属制的线夹接地至电气柜上,并尽量在变频器附近。

6.3.2 A700 变频器闭环矢量控制的操作

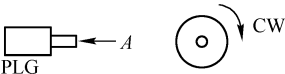
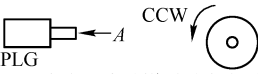
安装 FR-A7AP 并通过与带 PLG 的电动机组合使用,可以实现闭环矢量控制运行,可以实现高响应、高精度的速度控制(零速控制和伺服锁定)、转矩控制、位置控制。

闭环矢量控制主要适用于以下用途。

- 在负荷变动较大的情况下想要使速度变动控制在最小范围内;
- 需要低速大转矩时;
- 防止转矩过大导致机械破损(转矩限制);
- 想要实施转矩控制、位置控制;
- 在电动机轴停止状态下产生转矩的伺服锁定控制。

与闭环矢量控制相关的参数设置主要如表 6.4 所示。

表 6.4 与闭环矢量控制相关的参数设置

参数编号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容
71	适用电动机	0	0,8,3 ~ 18,20,23,24,30,33,34,40,43,44,50,53,54	通过选择标准电动机和恒转矩电动机,分别设定各自的热特性、电动机常数
80	电动机容量	9 999	0 ~ 3 600kW	请设定适用的电动机容量
			9 999	V/f 控制
81	电动机极数	9 999	2,4,6,8,10,112	请设定电动机极数(设定值 112 时为 12 极)
			12,14,16,18,20,122	X18 信号 - ON: V/f 控制 设定 10 + 电动机极数(设定值 122 时为 12 极)
			9 999	V/f 控制
359	PLG 转动方向	1	0	 从 A 方向观察为顺时针方向时,是正转
			1	 从 A 方向观察为逆时针方向时,是正转
369	PLG 脉冲数量	1 024	0 ~ 4 096	设定 PLG 的脉冲数量。 设定 4 倍递增前的脉冲数量



续表

参数编号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容	
800	控制方法选择	20	0	速度控制	矢量控制
			1	转矩控制	
			2	MC 信号 - ON:转矩 MC 信号 - OFF:速度	
			3	位置控制	
			4	MC 信号 - ON:位置 MC 信号 - OFF:速度	
			5	MC 信号 - ON:转矩 MC 信号 - OFF:位置	
			9	矢量控制试运行	
			10 ~ 12	实时无传感器矢量控制	
			20	V/f 控制 (先进磁通矢量控制)	

通过矢量控制实时推测电动机运行时的转矩指令与由旋转速度对电动机的负荷惯性比(负荷惯性力矩),同时由负荷惯性比和应答性自动设定速度控制、位置控制的最合适的增益,减少增益调整的时间。由于负荷惯性较大,或存在齿轮间隙等发生振动、噪声等不良现象,或是想让机械发挥出最佳的性能时,可以通过手工输入来进行增益调整。具体参数设置如表 6.5 所示。

表 6.5 增益调整

参数编号	名 称	初始值	设 定 范 围	内 容
818	简单增益调谐响应性设定	2	1 ~ 15	设定响应性水平。 1:低响应 ~ 15:高响应
819	简单增益调谐选择	0	0	无简单增益调谐
			1	有负荷推断,有增益计算 (仅矢量控制时有效)
			2	负荷(Pr. 880)有手动输入,增益计算
820	速度控制 P 增益 1	60%	0% ~ 1 000%	设定速度控制时的比例增益(将设定值设定得大一些,对于速度指令变化的追随性变好,从而相对于外部干扰的速度变动可以变小一些)
821	速度控制积分时间 1	0.333s	0 ~ 20s	设定速度控制时的积分时间(由于外部干扰产生速度变动时,将设定值设定得小一些,以便缩短恢复到原先速度的时间)
880	负荷惯性比	7 倍	0 ~ 200 倍	设定相对于电动机的负荷惯性比



### 6.3.3 A700 变频器闭环矢量速度控制的过程

安装 FR-A7AP 并通过与带 PLG 的电动机组合使用,可以实现闭环矢量控制运行,可以实现高响应、高精度的速度控制(零速控制和伺服锁定)、转矩控制、位置控制。  
闭环矢量速度控制的过程如图 6.23 所示。

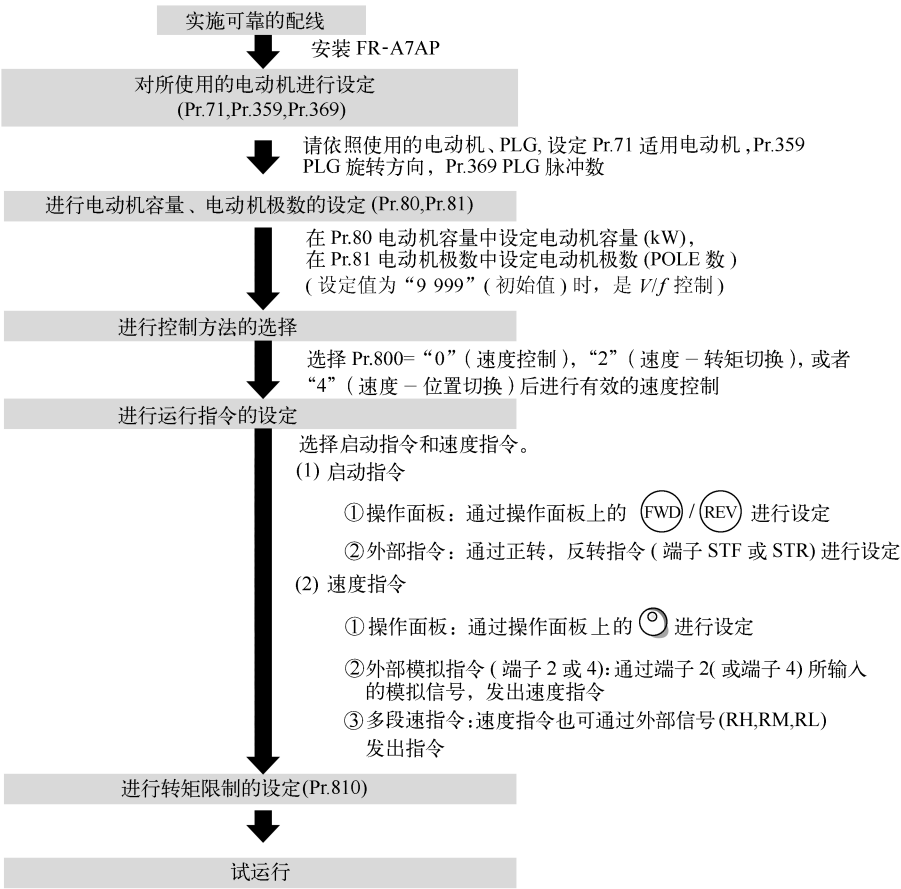


图 6.23 闭环矢量速度控制

为了达到高精度的速度控制,必须实施离线自动调整 (Pr. 96), 选择在线自动调整 (Pr. 95), 以及进行简单的增益调整或者通过手工输入来进行速度控制增益调整。

### 6.3.4 A700 变频器闭环矢量转矩控制的过程

闭环矢量能进行转矩控制,使之达到转矩指令值。当电动机的旋转速度、输出转矩和负荷转矩相匹配时,电动机的转速将变为恒速,因此,转矩控制时的电动机转速由负荷决定。转矩控制时,如果电动机的输出转矩超过电动机负荷,则电动机将加速。为了防止过



速度,设定速度限制值,以防电动机转速上升幅度过大。没有进行速度限制的设定时,将速度限制值的设定视为 0Hz,并且不能进行转矩控制。

闭环矢量转矩控制的过程如图 6.24 所示。

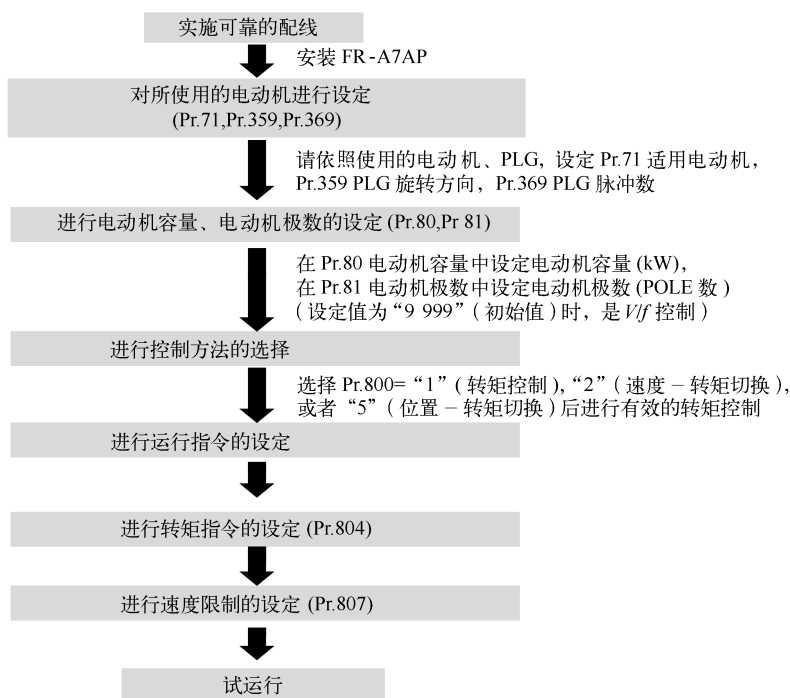


图 6.24 闭环矢量转矩控制

## 6.4 技能训练二:三菱张力控制器的设置与安装

### 6.4.1 三菱张力控制器 LE-30CTA 概述

在造纸、印刷、纺织、食品等工业中,我们经常需要加工、处理一些如纸张、膜料、箔片、丝、线及布等长尺寸材料。为保持生产的品质、效率及可靠性,一套功能完备的张力控制系统(包括张力控制器、张力检测器、离合器及制动器)是必需的条件。图 6.25 所示为三菱张力控制器 LE-30CTA 的外观,它能解决变频器在张力控制中所遇到的大部分问题。

LE-30CTA 的接线非常简洁,如图 6.26 所示为常见的接线方式,它包括电源输入、张力检测器(左或右)、动作开关、执行机构(磁粉离合器、制动器或变频器)。

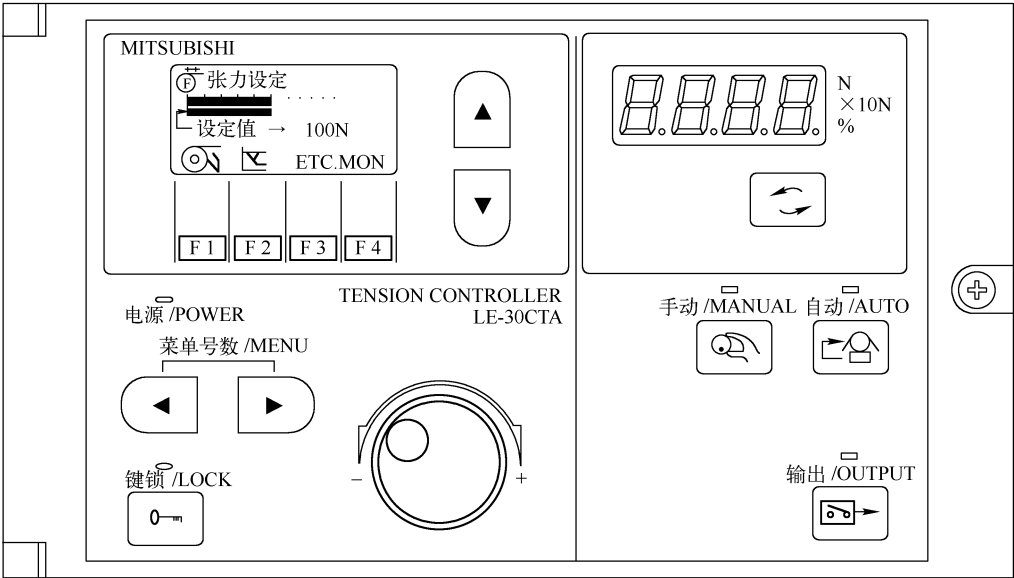


图 6.25 张力控制器 LE-30CTA 外观

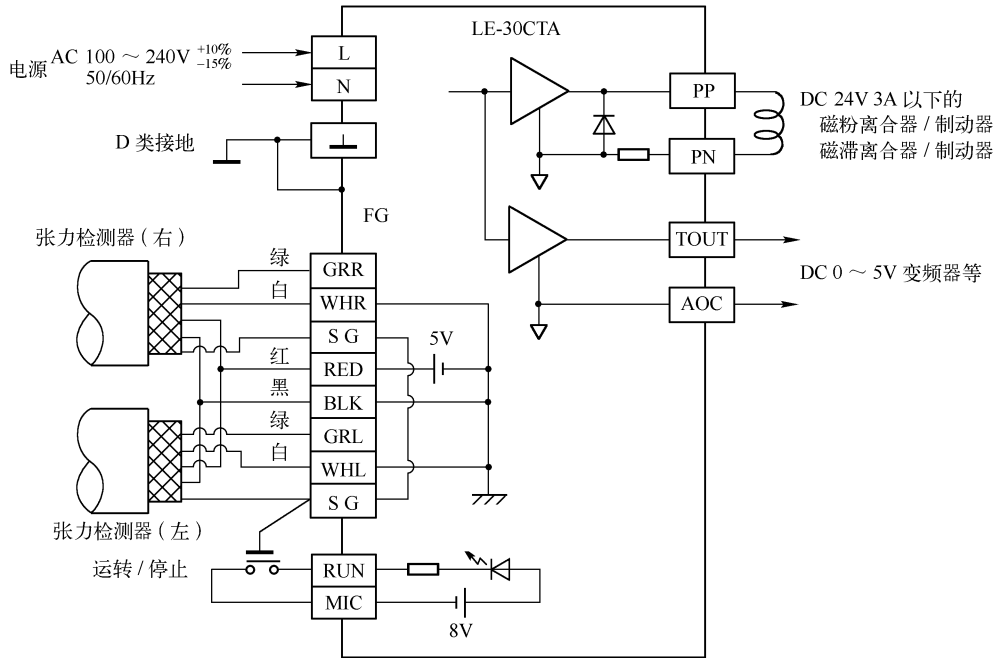


图 6.26 张力控制器接线示意图

6.4.2 三菱张力控制器 LE-30CTA 调试步骤

对于张力控制器来说,其调试步骤如图 6.27 所示,包括控制器的安装与配线,控制器的设定,通过手动运行进行驱动类部件的确认,通过自动运转进行相关动作的确认,根据需要调节运转参数等。



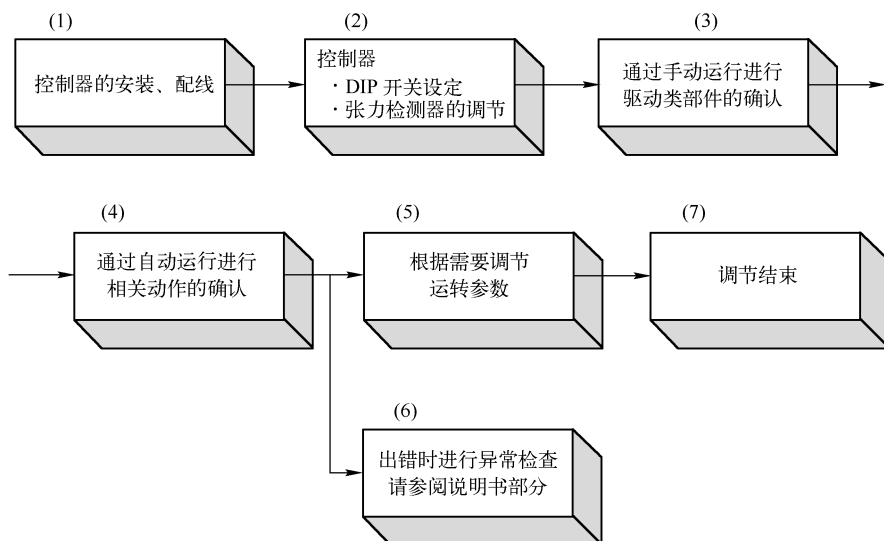


图 6.27 张力控制器的调试步骤

### 1. DIP 开关的设置

如图 6.28 所示为张力控制器 DIP 设置情况,共有 SW1 ~ SW8,包括张力单位、锥形控制模式、张力设定监视、语言切换、参数初始化和运转操作模式。

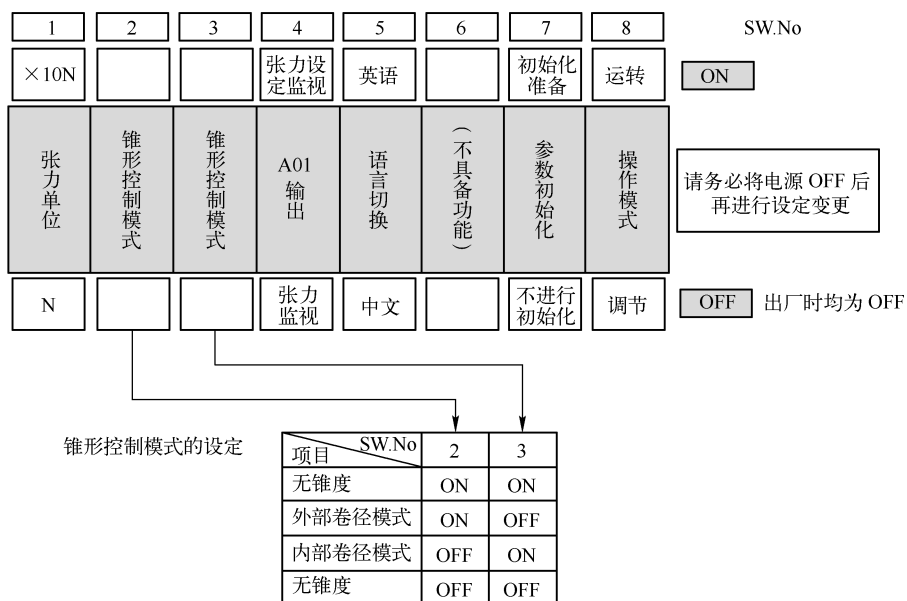


图 6.28 张力控制器的 DIP 设置

电源 ON 时的画面根据是否装载有存储盒以及 DIP 开关 NO.7 和 NO.8 的 ON/OFF 状态,分别显示如下。



- (1) 装载有存储盒时,进入存储盒操作模式;
- (2) DIP 开关 NO. 7 为 ON 时,进入参数初始化模式;
- (3) DIP 开关 NO. 8 为 OFF 时,进入调节模式;
- (4) DIP 开关 NO. 8 为 ON 时,进入通常运转模式。

当设定有多个模式时,按照下面优先方式显示:存储盒操作模式(最高)、参数初始化模式(中间)、调节模式(最低)。如图 6. 29 所示为各种模式的显示。

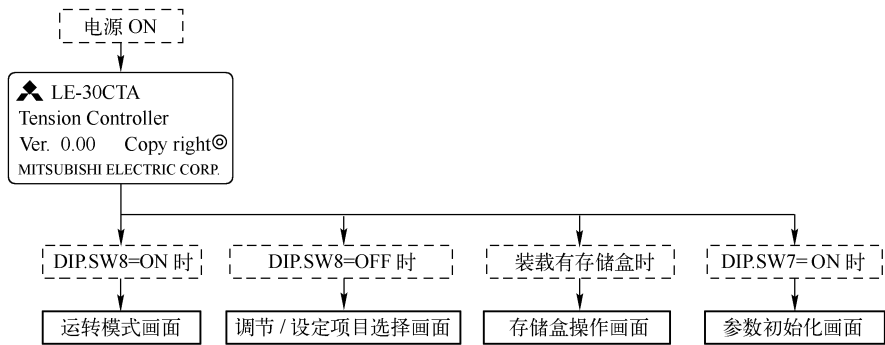


图 6. 29 各种模式的显示

2. 画面切换及菜单显示

张力控制器的菜单可以通过不同的按钮进行画面切换,具体如下所示。

- 切换至张力设定画面
- 切换至锥度设定画面
- MON. — 切换至张力或输入、输出监视画面
- 切换至自动跨距调节画面
- 执行 — 执行操作
- 设定 — 确定功能
- 切换至手动设定画面
- EXT. — 切换至追加登记画面
- 切换至自动调零画面
- 切换至菜单复制画面
- 取消 — 取消操作
- 切换选择项目

将 DIP 开关 NO. 8 置为 ON,并将电源 ON 时,则进入正常运转模式,其画面切换如图 6. 30所示。

将 DIP 开关 NO. 8 置为 OFF,将电源重新闭合,则进入调节模式。调节模式的画面操作可以分两种情况进行,一种是利用功能键切换(如图 6. 31 所示),另外一种是利用项目号进行切换(如图 6. 32 所示)。

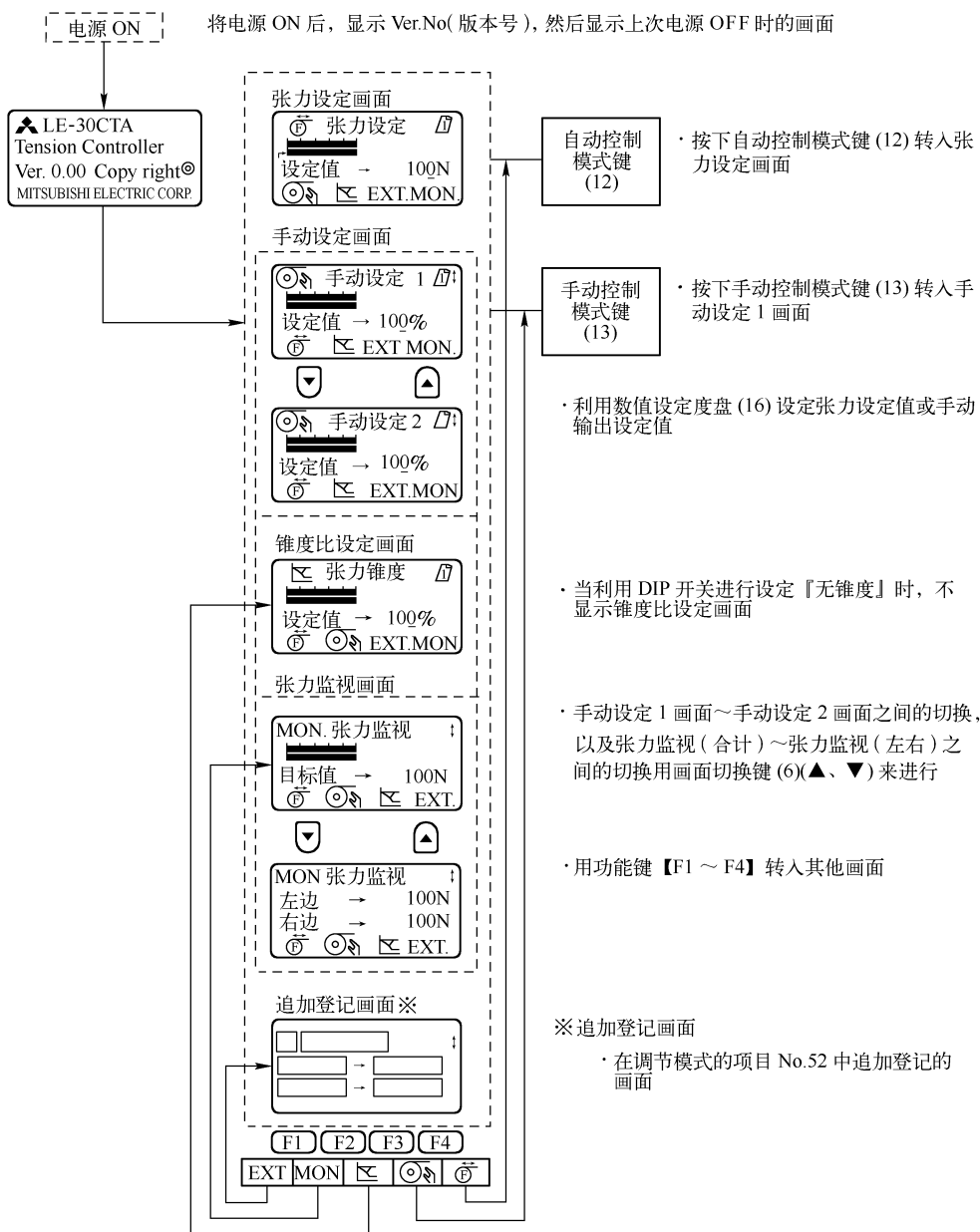


图 6.30 正常运转模式

### 3. 张力检测器的调节

项目号码 20 是满量程张力计显示小数点的设定。

- 设定该控制器所控制的最大张力值及张力显示小数点。满量程张力的设定应高于所控制的最大张力(1.2 ~ 1.5 倍左右)。
- 在此设定的满量程张力与通过模拟输入信号进行的张力设定、张力监视/张力设



定监视输出的最大值相适应。

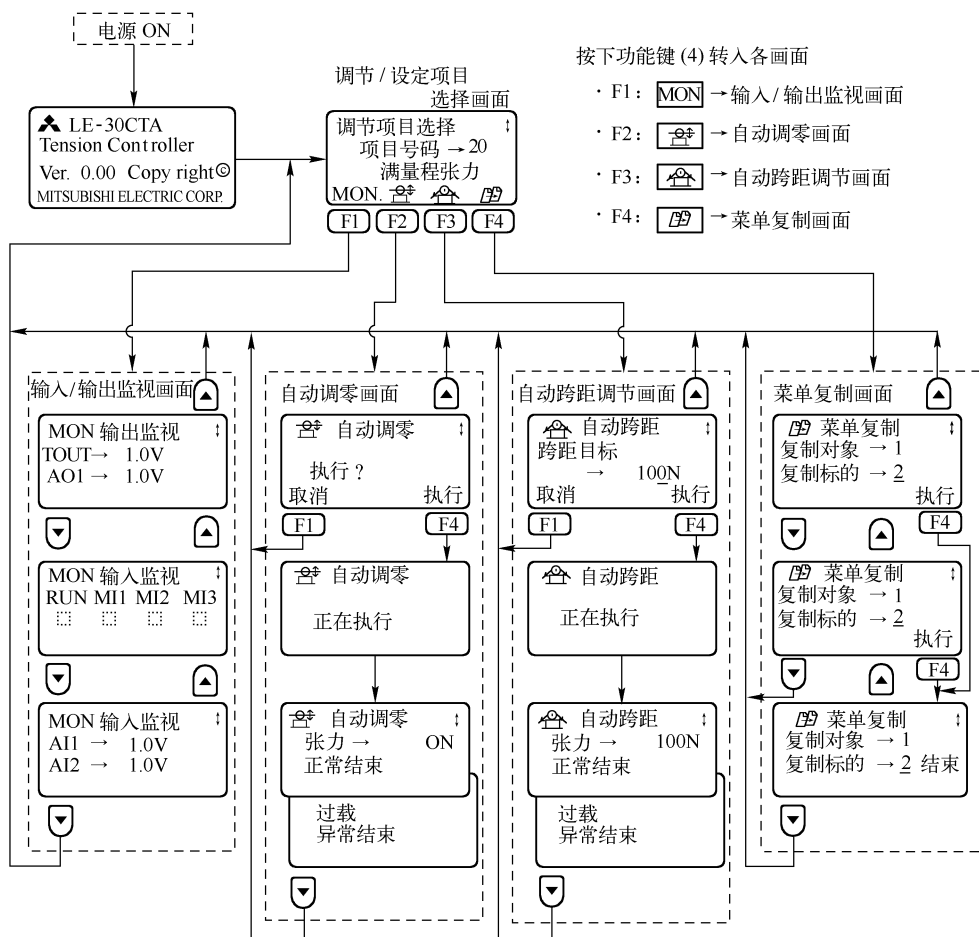


图 6.31 调节模式画面切换一

- 模拟输入信号 (AI1、AI2、AI3)——输入电压为 0 ~ 5V, 设定张力为 0 ~ 满量程张力。
- 输出信号 (AO1)——输出电压为 0 ~ 5V, 监视值为 0 ~ 满量程张力。
- 设定范围:  
满量程张力——1 ~ 2 000 (N、×10N), 初始设定 = 500;  
显示小数点——0.01、0.1、1, 初始设定 = 1。
- 配合 DIP 开关 No. 1 的张力单位 (N 或 ×10N), 根据机械控制的最大张力值进行设定。
- 设定方法——在调节模式 (将 DIP. SW8 置为 OFF, 将电源置为 ON) 下选择项目号码 20, 并用图 6.33 所示画面进行设定。

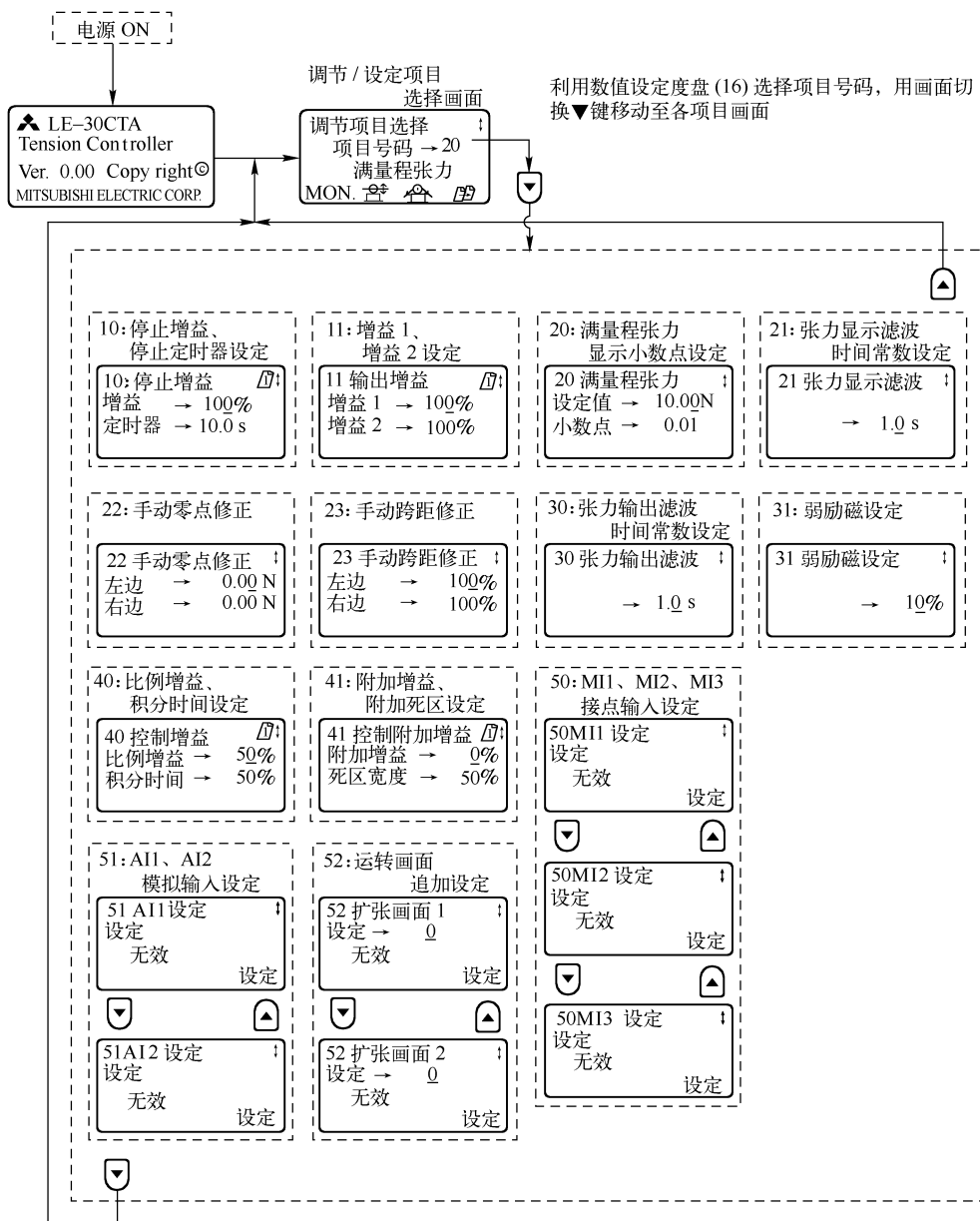


图 6.32 调节模式画面切换二

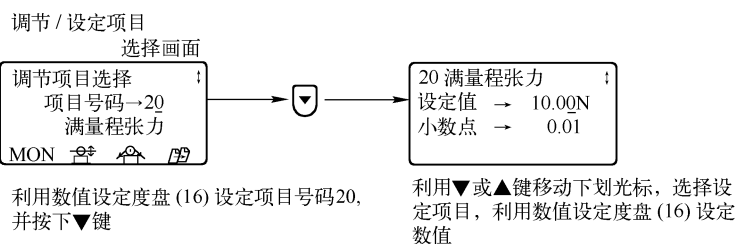


图 6.33 设定画面



由于张力检测器在启用之初已经处于受力状态,如图 6.34 所示,因此张力检测器的调零就是对检测辊及轴承等毛重负载进行校正,调零应在安装辊但不过料的情况下进行。图 6.35 所示是张力检测器的调零过程,注意此时 DIP 开关 NO.8 为 OFF,然后上电即可进入调节模式。

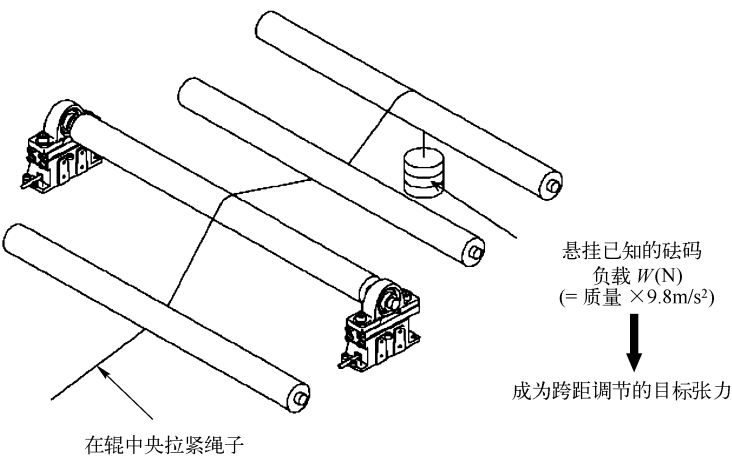


图 6.34 张力检测器的调零和跨距调节

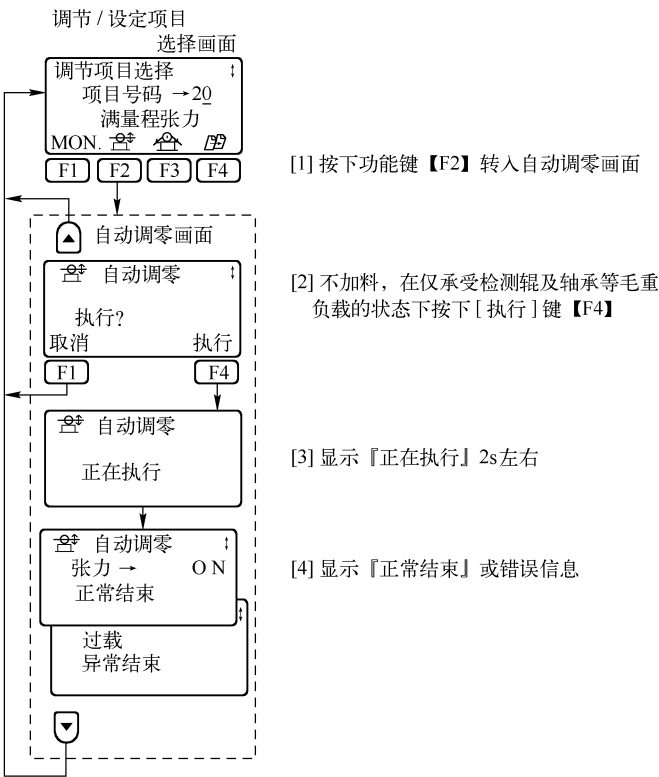


图 6.35 张力检测器的调零



张力检测器的跨距调节随着材料张力施加到张力检测器的负载因检测器安装方向及材料通过角度而异,如图 6.36 所示为张力检测器的跨距调节。

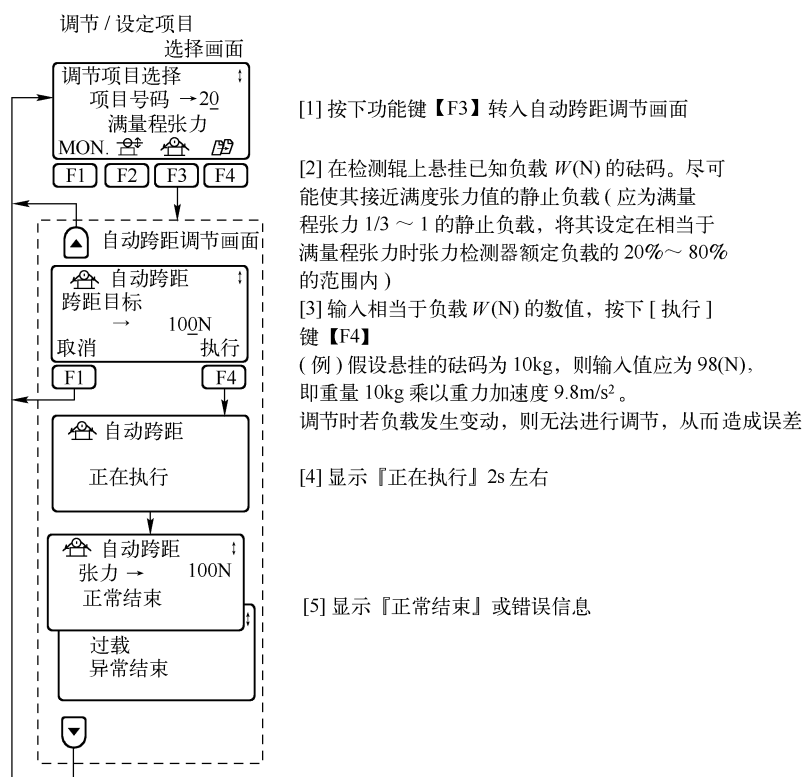
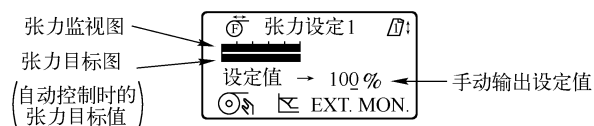


图 6.36 张力检测器的跨距调节

#### 4. 手动运转的确认(注意 DIP 开关 NO. 置为 ON)

- (1) 将电源置为 ON, 电源指示灯(3)点亮。
- (2) 按下手动控制模式键(13), 进入手动模式。



- (3) 运转机械, 利用数值设定刻度盘来改变手动输出设定值, 对动作进行确认。

① 机械运转状态的确认。

② 随着设定值的变化, LCD 显示器的张力监视图、监视显示器(7)的监视值也发生变化。

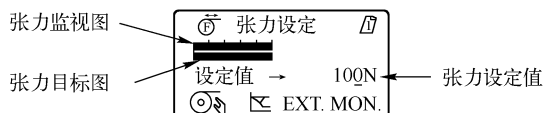
③ 其他动作。

#### 5. 自动运转的确认

- (1) 将电源置为 ON, 电源指示灯(3)点亮。



(2) 按下自动控制模式键(12),进入自动模式。自动控制模式指示灯(11)点亮,显示张力设定画面。



(3) 运转机械,将[ RUN ]输入信号置为 ON 以开始自动运转。用数值设定刻度盘改变张力设定值,对动作进行确认。

- ① LCD 显示器的张力监视图同张力设定图一样。
- ② LCD 显示器的张力设定值与监视显示(7)的张力监视值相同。
- ③ 随着设定值的变化,相应显示也发生变化。
- ④ 其他。

## 6.5 项目设计方案

### 6.5.1 收卷传动控制系统的硬件设计

#### 1. 控制原理

速度和转矩控制是张力收卷传动电动机的核心控制,其控制原理如图 6.37 所示。M1 为主传动,采用双闭环速度/转矩矢量控制方式,速度环为  $V_{\text{速度给定}}$  和 PG 编码器返回的实际速度的控制回路,其输出值再乘以一定的比值就是 M2 的转矩控制输入值。转矩环为内部闭环。M2 为收卷传动,速度闭环的输出值并不直接控制转矩,而只限定 M2 转矩的幅度,以最终保证收卷电动机在线速度上的紧密性和同步性,M2 转矩的输入值来自张力控制器输出的转矩值,以决定 M2 的转矩输出值。

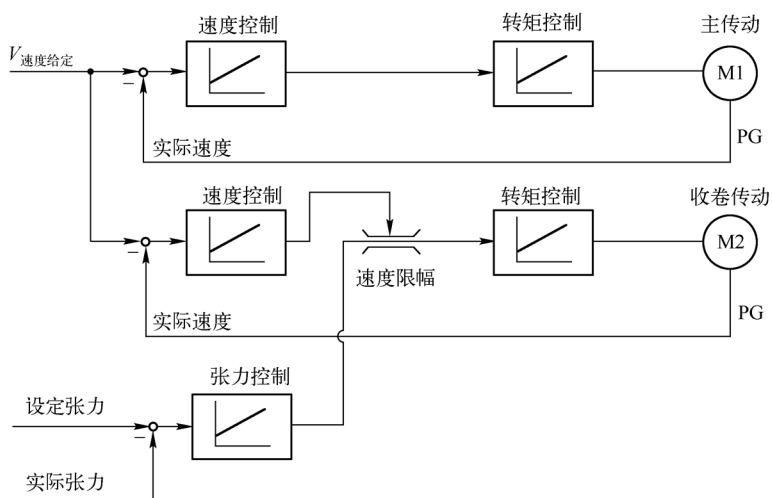
#### 2. 硬件选型与设计

本次轧机电动机选用国产 YVP 系列变频电动机,选用强制风冷和 OMRON 差动式编码器 E6B2-CWZ1X。由于三菱变频器所配电机基本都是国产电动机,并非选用三菱电动机,因此,这里有必要将编码器的具体接线与原理解释清楚。

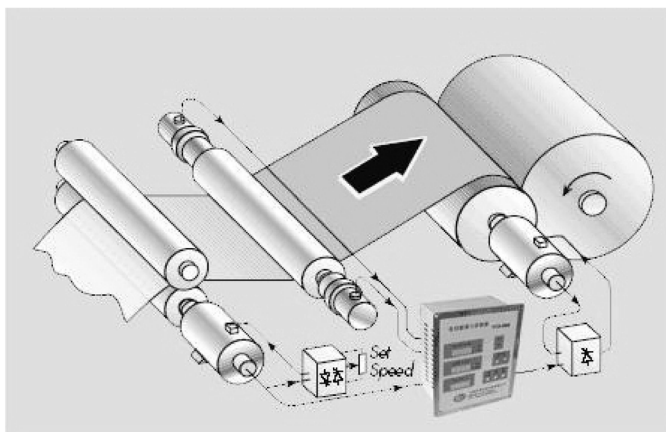
(1) 编码器的具体指标。

- ① 分辨率:轴旋转 1 次时输出的增量信号脉冲数或绝对值的绝对位置数。
- ② 输出相:增量形式的输出信号数,包括 1 相型(A 相)、2 相型(A 相、B 相)、3 相型(A 相、B 相、Z 相)。Z 相输出 1 次即输出 1 次原点用的信号。
- ③ 输出相位差:轴旋转时,A 相、B 相各信号相互间上升或下降中的时间偏移量与信号 1 周期时间的比,或者用电气角表示信号 1 周期为  $360^\circ$ 。A 相、B 相用电气角表示为  $90^\circ$  的相位差(如图 6.38 所示)。





(a)



(b)

图 6.37 收卷张力控制原理

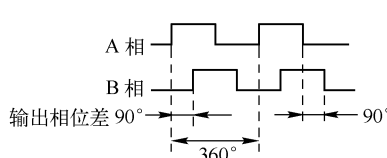


图 6.38 输出相位差

④ CW: 顺时针旋转 (Clock Wise) 的方向。从轴侧面观察为向右旋转, 在这个旋转方向中, 通常增量型为 A 相比 B 相先进行相位输出, 绝对型为代码增加方向。CW 方向反旋转时为 CCW (Counter Clock Wise)。

⑤ 输出功效比: 使轴以固定速旋转时输出的平均脉冲周期时间与 1 周期的 H 位时间的比。

⑥ 最高响应频率: 响应信号所得到的最大信号频率。

⑦ 上升时间、下降时间: 输出脉冲幅度的 10% ~ 90% 的时间, 如图 6.39 所示。

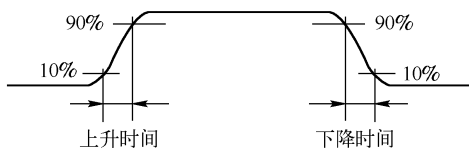


图 6.39 上升时间、下降时间

## ⑧ 输出电路。

- 开路集电极输出:以输出电路的晶体管发射极为共通型,以集电极为开放式的输出电路。
- 电压输出:以输出电路的晶体管的发射极为共通型,在集电极与电源间插入电阻,并输出因电压而变化的集电极的输出电路。
- 线路驱动器输出(又称差动输出):本输出方式采用高速、长距离输送用的专用 IC 方式,是依据 RS422 - A 规格的数据传送方式。信号以差动的 2 信号输出,因此抗干扰能力强。
- 补码输出:输出上具备 NPN 和 PNP 两种输出晶体管的输出电路。根据输出信号的「H」、「L」,两个输出晶体管交互进行「ON」、「OFF」动作。使用时,请在正极电源、OV 上进行上拉、下降后再使用。补码输出包括输出电流的流出、流入两个动作,其特征为信号的上、下降速度快,可延长代码的长距离。可与开路集电极输入机器(NPN、PNP)连接。

⑨ 启动转矩:旋转式编码器的轴旋转启动时必须的旋转力矩。通常旋转时,一般取比本值低的值。轴为防水用密封设计时,启动转矩的值较高。

⑩ 惯性力矩:表示旋转式编码器的旋转启动、停止时的惯性力的大小。

⑪ 轴容许力:加在轴上的负载负重的容许量。径向以直角方向对轴增加负重,而轴向以轴方向增加负重。两者都为轴旋转时容许负重,该负重的大小会对轴承的寿命产生影响。

## ⑫ 绝对代码。

- 二进制代码:本代码为纯二进制代码,用  $2n$  表示。
- 格雷码:转换位置时,只有 1 位发生变化的代码。旋转式编码器的代码为格雷码。
- 余格雷码:用格雷码表示 36、360、720 等  $2n$  以外的分辨率时的代码。格雷码的性质为:将格雷码的最上位从“0”切换至“1”时起,当数值小的一方和数值大的一方分别只取相同区域时,在该范围内从代码的结束与开始进行转换时,只改变 1 位信号。根据这种性质,可按格雷码进行任意的偶数分辨率设定。但此时,代码的起始不是从 0 位置开始,而是从中途的代码开始,所以实际使用时,需要进行代码转换处理,转换至由 0 位置起的代码后再使用。

⑬ 中空轴型(空心轴型):旋转轴为中空轴形状,通过将驱动侧的轴直接与中空孔连接,可节省轴方向的空间。以板簧为缓冲,吸收驱动轴的振动等。

⑭ 金属盘:编码器的旋转板(盘)是用金属制成的,与玻璃旋转板(盘)相比,更强化了耐冲击性。但受到狭缝加工的制约,不能应用于高分辨率。

(2) 编码器 E6B2-CWZ1X 接线与输出示意。图 6.40 所示为编码器 E6B2-CWZ1X 接线原理图。

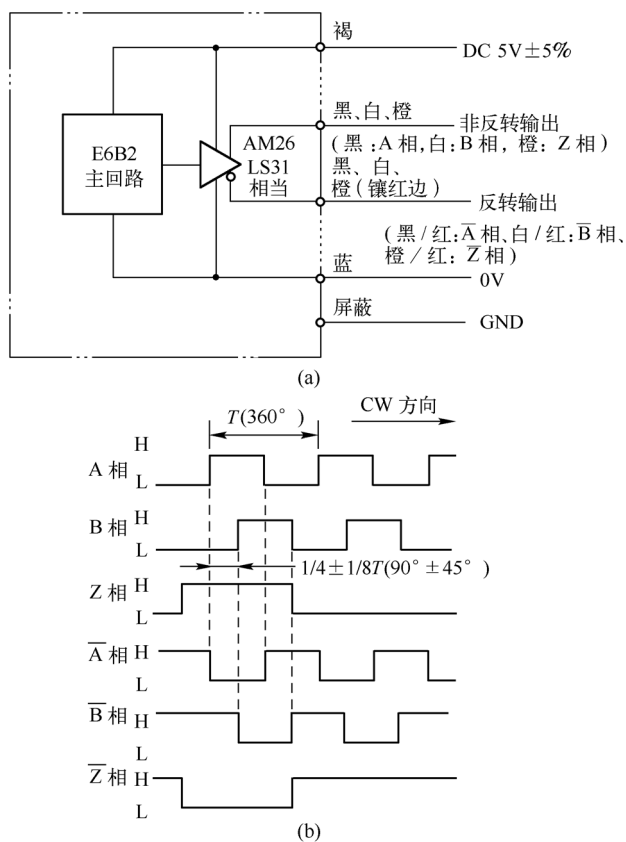


图 6.40 编码器 E6B2-CWZ1X 接线原理图

表 6.6 所示为编码器 E6B2-CWZ1X 接线端子功能定义,它采用 DC 5V 电源,输出 3 对 A、B、Z 相差动信号。

表 6.6 编码器 E6B2-CWZ1X 接线端子功能定义

线 色	端 子 名
褐	电源( + Vcc)
黑	输出 A 相
黑/红 镶边	输出 $\bar{A}$ 相
白	输出 B 相
白/红 镶边	输出 $\bar{B}$ 相
橙	输出 Z 相
橙/红 镶边	输出 $\bar{Z}$ 相
蓝	0V ( COMMON)



(3) 收卷变频器硬件接线图。图 6.41 所示为收卷变频器硬件接线图。VF1 主传动变频器的速度设定采用电位器,并连接了 PLG 差动输入信号作为闭环矢量控制的反馈信号,跳线设置如图 6.41 所示。VF2 收卷变频器采用转矩控制,其转矩命令来自于张力控制器的输出,速度限幅来自于 VF1 的速度。

### 6.5.2 收卷变频控制系统的参数设置

1. VF1 速度控制参数设置(如表 6.7 所示)

表 6.7 VF1 速度控制参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 71	适用电动机	3(其他品牌标准电动机)
Pr. 73	模拟量输入选择	1(0~5V 信号)
Pr. 79	运行模式选择	2(固定外部运行模式)
Pr. 80	电动机容量	90kW
Pr. 81	电动机极数	4
Pr. 158	AM 端子功能选择	32(转矩指令)
Pr. 178	STF 端子功能选择	60(正转)
Pr. 179	STR 端子功能选择	61(反转)
Pr. 359	PLG 转动方向	0(根据实际情况调整)
Pr. 369	PLG 脉冲数量	1 024(根据订货号输入)
Pr. 800	控制方法选择	0(速度控制)

2. VF2 转矩控制参数设置(如表 6.8 所示)

表 6.8 VF2 转矩控制参数设置

参数代码	功能简述	设定数据
Pr. 71	适用电动机	3(其他品牌标准电动机)
Pr. 73	模拟量输入选择	1(0~5V 信号)
Pr. 79	运行模式选择	2(固定外部运行模式)
Pr. 80	电动机容量	90kW
Pr. 81	电动机极数	4
Pr. 178	STF 端子功能选择	60(正转)
Pr. 179	STR 端子功能选择	61(反转)
Pr. 359	PLG 转动方向	0(根据实际情况调整)
Pr. 369	PLG 脉冲数量	1 024(根据订货号输入)
Pr. 800	控制方法选择	1(转矩控制)
Pr. 804	转矩指令权选择	0(模拟量 1 通道)
Pr. 807	速度限制选择	0(速度控制时的速度指令值)
Pr. 868	端子 1 功能分配	3 或 4(转矩指令)





## 6.6 技术答疑

**【问题1】** 主传动 M1 电动机不转动,是什么原因?

有可能是:① 电动机布线错误;② PLG 规格选择开关(FR-A7AP)错误;③ PLG 布线错误;④ Pr. 369 PLG 脉冲数设定和使用的 PLG 脉冲数不同;⑤ PLG 电源规格错误或未输入电源。

解决的办法如下。

(1) 布线的确认。输入正转信号,从电动机轴方向观察,如果是逆时针方向转动,则为正常(顺时针方向说明变频器2次侧接线的相序有误)。

(2) PLG 规格的确认。确认差动/互补的 PLG 规格选择开关(FR-A7AP)。

(3) 矢量控制设定下,在变频器停止过程中将电动机从外部逆时针方向旋转,确认有无 FWD 的显示。显示 REV 时,说明 PLG 的相序错误。请正确布线,或调整 Pr. 359 PLG 转向的设定值以保持一致。

(4) 参数设定值比使用的 PLG 脉冲数量少时,电动机将不会转动。请正确设定 Pr. 369 PLG 脉冲数量。

(5) 确认 PLG 的电源规格(5V/12V/15V/24V),输入外部电源。

**【问题2】** 收卷过程不稳定,是什么原因?

有可能是:① 速度控制增益与机械不匹配;② 由于变频器的加减速时间,响应性变差。

解决方法如下。

(1) 实施简单增益调整,调整 Pr. 820, Pr. 821;实施速度前馈控制、模型适应速度控制。

(2) 将加减速时间设为最佳值。

**【问题3】** 造纸机变频器柜如何能做到防尘和防潮湿?

### 1. 防尘控制柜的设计

在多粉尘场所,特别是多金属粉尘、絮状物、纸屑等的场所使用变频器时,采取正确、合理的防护措施是十分必要的,防尘措施得当对保证变频器正常工作非常重要。

有防尘要求(IP5X 以上)的,总体上控制柜整体应该密封,应该通过专门设计的进风口、出风口进行通风;控制柜顶部应该有防护网和防护顶盖出风口;控制柜底部应该有底板和进风口、进线孔,并且安装防尘网。

防尘控制柜的设计主要分以下几方面。

(1) 控制柜的风道要设计合理,排风通畅,避免在柜内形成涡流,在固定的位置形成灰尘堆积。

(2) 控制柜顶部出风口上面要安装防护顶盖,防止杂物直接落入;防护顶盖高度要合理,不影响排风;防护顶盖的侧面出风口要安装防护网,防止絮状杂物直接落入。

(3) 如果采用控制柜顶部侧面排风方式,出风口必须安装防护网。



(4) 一定要确保控制柜顶部的轴流风机旋转方向正确,向外抽风。如果风机安装在控制柜顶部的上部,必须确保防护顶盖与风机之间有足够的空间;如果风机安装在控制柜顶部的内部,安装所需螺钉必须采用止逆弹件,防止风机脱落造成柜内元件和设备的损坏。建议在风机和柜体之间加装塑料或橡胶减振垫圈,可以大大减小风机振动造成的噪声。

(5) 控制柜的前、后门和其他接缝处,要采用密封垫片或密封胶进行一定的密封处理,防止粉尘进入。

(6) 控制柜底部、侧板的所有进风口、进线孔,一定要安装防尘网,阻隔絮状杂物进入。防尘网应该设计为可拆卸式,以方便清理、维护。防尘网的网格要小,能够有效阻挡细小絮状物(与一般家用防蚊蝇纱窗的网格相仿);或者根据具体情况确定合适的网格尺寸。防尘网四周与控制柜的结合处要处理严密。

(7) 如果特殊用户在使用中需要取掉键盘,则变频器面板的键盘孔一定要用胶带严格密封或者采用假面板替换,防止粉尘大量进入变频器内部。

防尘变频控制柜的应用非常广泛,比如在矿山的变频提升机构、工业炉窑的传动设备、塑料挤出机和混料机的主机传动、建筑业的搅拌机和起重机等场合,能充分保证变频器的优良工作性能。

## 2. 防潮湿霉变的控制柜的设计

多数变频器厂家内部的印制板、金属结构件均未进行防潮湿霉变的特殊处理,如果变频器长期处于这种状态,金属结构件容易产生锈蚀,对于导电铜排在高温运行情况下,更加剧了锈蚀的过程。对于微机控制板和驱动电源板上的细小铜质导线,由于锈蚀将造成损坏,因此,对于应用于潮湿和含有腐蚀性气体的场合,必须对使用变频器的内部设计有基本要求,例如印制电路板必须采用三防漆喷涂处理,对于结构件必须采用镀镍铬等处理工艺。

除此之外,还需要设计能够防潮湿霉变或防高湿度的变频控制柜,保证其防护等级在IP54及以上,具体的措施有以下几条。

(1) 控制柜可以安装在单独的、密闭的采用空调的机房,此方法适用控制设备较多,建立机房的成本低于柜体单独密闭处理的场合,此时控制柜可以采用如上防尘或一般环境设计即可。

(2) 采用独立进风口。单独的进风口可以设在控制柜的底部,通过独立密闭地沟与外部干净环境连接,此方法需要在进风口处安装一个防尘网,如果地沟超过5m以上,则可以考虑加装鼓风机。

(3) 密闭控制柜内可以加装吸湿的干燥剂或吸附毒性气体的活性材料,并进行周期性检查和更换。

(4) 采用具有独立风道冷却方式的变频器,将该风道外置,与柜内完全隔离;或者在大功率变频器的情况下可以选择液冷方式。

(5) 在湿度高的氛围中为防止变频器停止运行后产生积累的结露,可以装设空间对流加热器,在变频器运转时可以自行切断加热器回路。

(6) 防潮湿霉变的变频控制柜可以在高湿度或腐蚀性强的场所中工作,从而可以杜



绝缘劣化和金属表面的锈蚀。

## 思考与练习

习题 6.1 根据本项目的知识讲座和技能训练,并结合网络搜索来回答以下问题。

- (1) 简述闭环矢量控制的定义。
- (2) 闭环矢量控制中,PG(或 PLG)的接线有几种?
- (3) 请画出 A700 的 PLG 接线方式。
- (4) 寻找适合 A700 用的 PLG 型号及品牌,并说明为什么。
- (5) 张力控制的核心是什么?
- (6) A700 变频器能否对三菱张力控制器输出转矩进行限幅?

习题 6.2 如图 6.42 所示,在电线电缆收线机械的电气系统中,加工机和收线机组成主从传动,利用两台通用型变频器工作在主从控制方式,拖动电动机同步运行。主机是加工机械,由一台功率较大的变频器控制,根据生产工艺要求调节加工速度;从机是收线机,由较小功率变频器控制。加工成型的电线电缆通过定滑轮 1、张力动滑轮、定滑轮 2 到达收线机,主机变频器控制总车速,从机转速自动跟随主机的加工出线速度,保持张力动滑轮的位置不变;张力动滑轮通过连杆和电位器连接,动滑轮上下移动改变电位器位置,输出的电压信号送从机变频器,由变频器内置的 PID 调节器进行闭环反馈控制,达到张力恒定的要求。请设计 A700 变频控制系统,并设置参数。

习题 6.3 在图 6.42 中,假如采用本项目的控制方式,该如何实现?

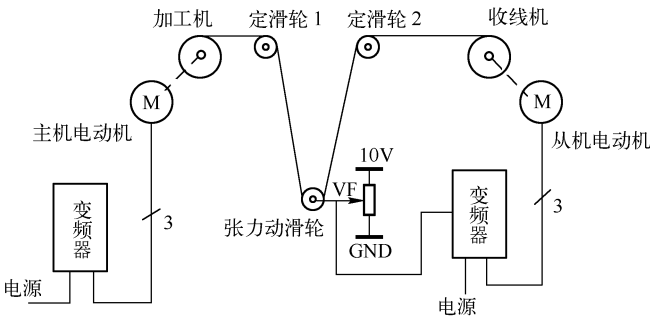


图 6.42 电线电缆收线机械

习题 6.4 如图 6.43 所示是为某纺织企业设计的收卷系统,张力控制采用 PLC 来设定,请设计变频控制系统的硬件图,并进行参数设置。

习题 6.5 图 6.44 所示为造纸机传动的示意简图,该系统由压榨辊、烘缸(图中未画出)、压光辊、卷纸辊、张紧检测及标定装置、光电传感器等组成。张紧装置主要由导轮、张紧轮、挺杆、弹簧、光电开关等组成。现在需要通过张力控制来实时调节压光辊电动机和卷纸辊电动机的速度,请设计变频控制系统图,并设置参数。



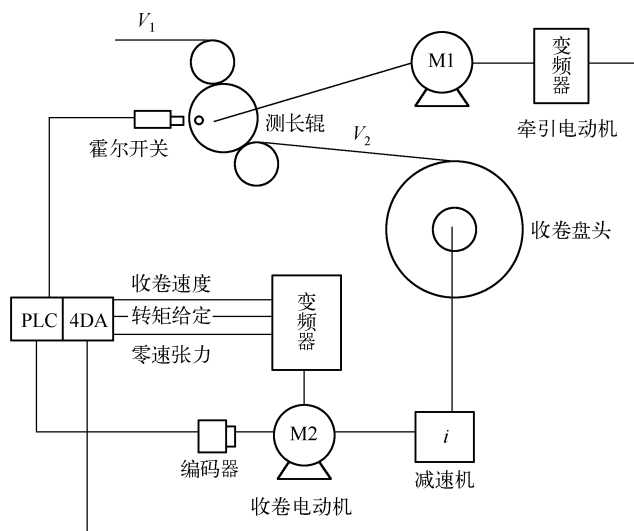


图 6.43 纺织企业张力控制收卷原理

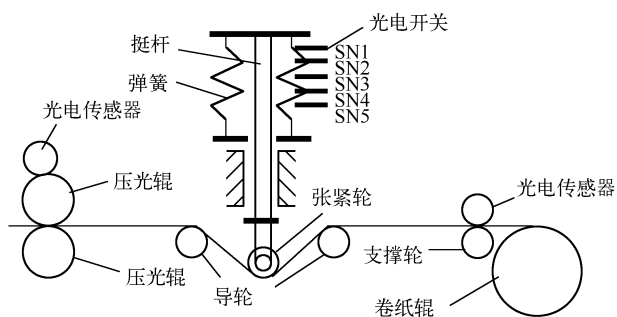


图 6.44 造纸机传动示意简图

# 附录 A

## 三菱 E540 变频器的安装、调试与维护

### 任务一 变频器的安装

#### 第一部分 实训的目的与要求

##### 一、目的与要求



##### 知识目标

- (1) 熟悉交流电动机的调速方式。
- (2) 学会变频器调速原理。
- (3) 掌握变频器的基本构造。



##### 技能目标

熟练掌握变频器在控制柜中的安装方式,并进行接线。

##### 二、需要准备的设备、工具与器材(见表 A. 1)

表 A. 1 任务所需设备、工具与器材

名 称	型号或规格	数 量
变频器	三菱 E540(1.5kW/380V)	1 台
常用工具	扳手、起子等工具	1 套
万用表	MF 系列指针式	1 个
兆欧表	500V 指针式	1 个
控制柜	包含端子排、开关等所用附件	1 套



## 第二部分 技能训练

### 一、任务描述

开箱检查三菱 E540 系列变频器,并按照合适的电气线路将其安装在控制柜中。

### 二、实训内容及操作步骤

#### 1. 开箱和检查

从包装箱取出变频器,检查正面盖板的容量铭牌和机身侧面的额定铭牌(见图 A.1),确认变频器型号,产品是否与订货单相符,确认变频器是否损坏。

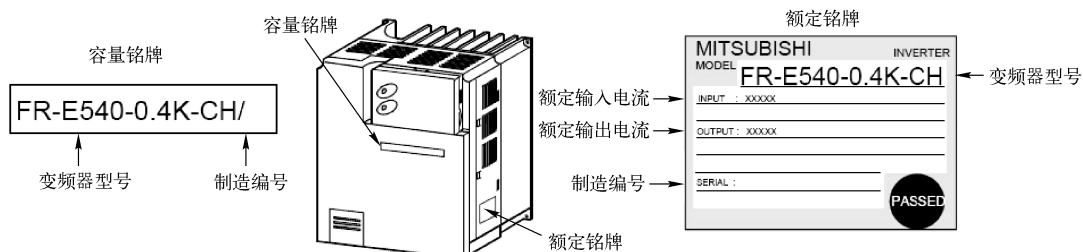
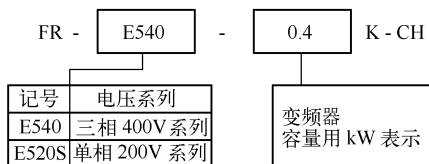


图 A.1 变频器铭牌

对于传动设备来说,合适功率的变频器才是最关键的,三菱 E 系列变频器型号说明如下。



#### 2. 变频器前盖板的拆卸与安装

(1) 前盖板拆卸。前盖板是由位于 A,B,C 位置的插销固定的,请按箭头方向以 C 为支点,同时按下 A,B,取下前盖板,如图 A.2 所示。

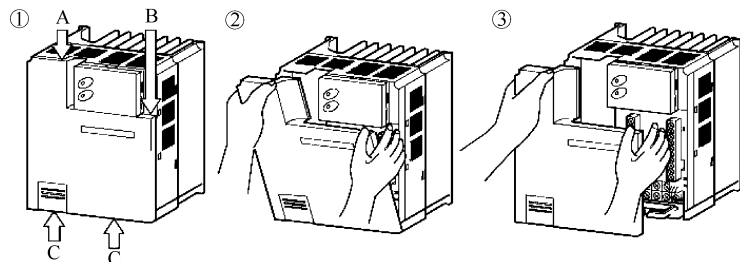


图 A.2 变频器前盖板的拆装



(2) 前盖板安装。接线后安装时,请固定好插销。请不要在拆掉前盖板状态下接入电源。

(3) 其他部件的拆装。根据前盖板拆装情况,可以按照图 A.3 所示依次进行接线盖、辅助板、操作面板、操作面板(FR-PA02-02)表面盖板的拆装。

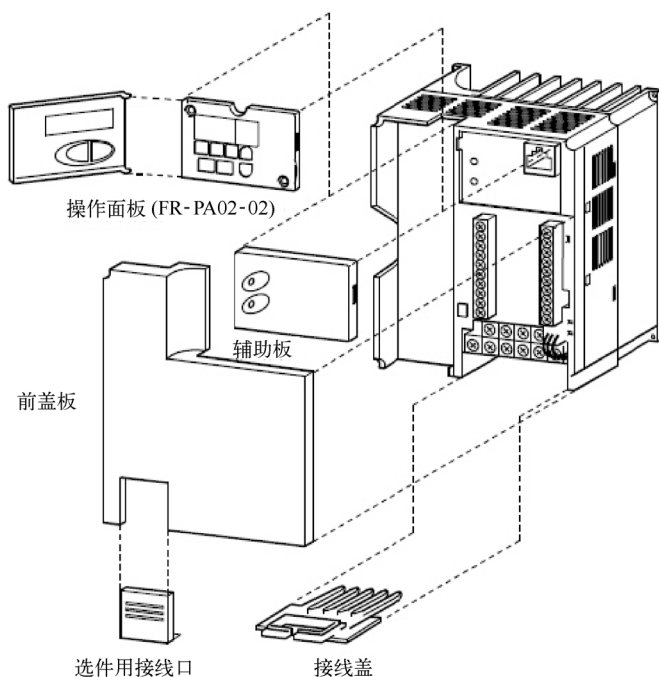


图 A.3 变频器系列盖板的拆装

### 3. 变频控制柜安装

安装一台简单的变频控制柜,要求能进行正反转控制,能进行调速。

(1) 绘制线路原理图。根据要求,选取三菱 E540 系列变频器进行线路原理图绘制(参考图 A.4)。

(2) 绘制变频器等器件安装布局图(见图 A.5),将变频器、交流接触器、继电器、断路器等电气部件安装在网孔板或绝缘板上。

变频器安装在控制柜内部是最普遍的安装方式,占到变频器应用环境的九成以上,其安装应该至少满足以下几个条件。

① 变频器应垂直安装(如图 A.6 所示);

② 环境温度应该在  $-10 \sim 40^{\circ}\text{C}$  的范围内,如温度超过  $40^{\circ}\text{C}$ ,则需外部强迫散热或降额使用,有些变频器的上限温度为  $50^{\circ}\text{C}$ (如美国 ROCKWELL 的变频器 1336 或 PowerFlex 系列);

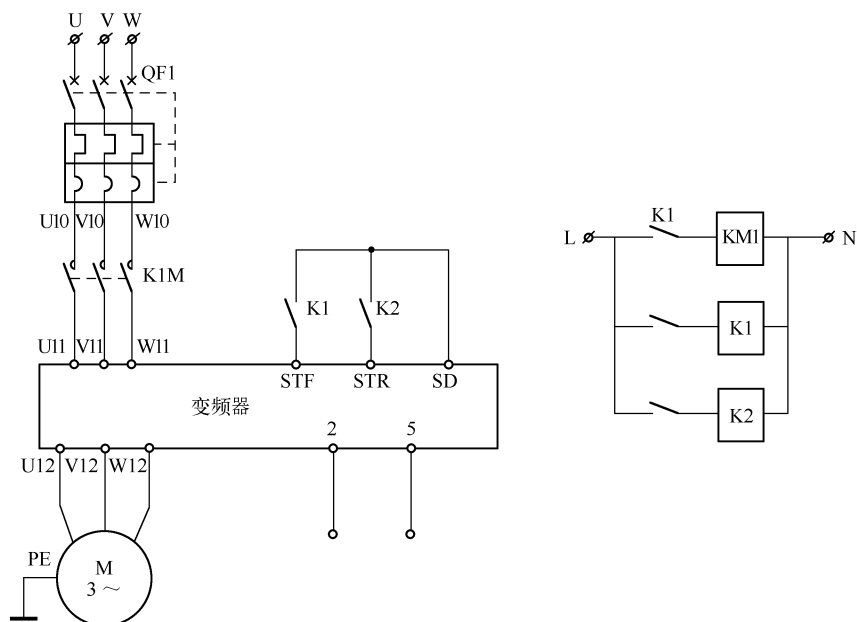


图 A.4 三菱变频控制图

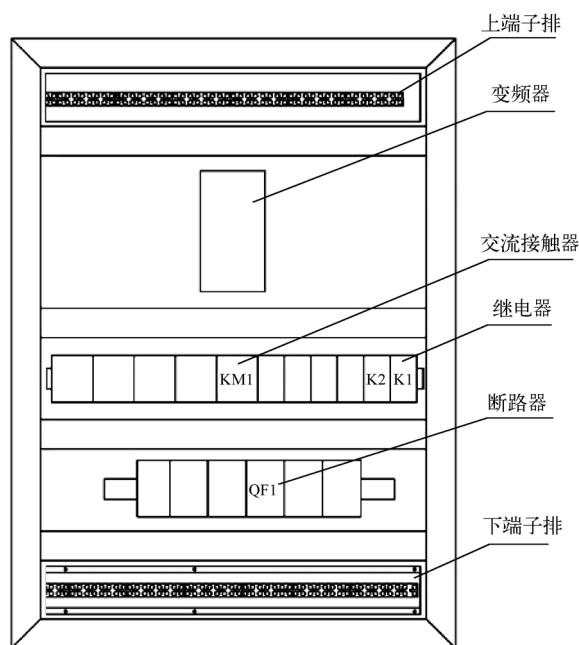


图 A.5 器件安装布局图

- ③ 湿度要求低于 95% , 无水珠凝露;
- ④ 外界振动小于一定值(如 0.6g 或 0.5g);
- ⑤ 避免阳光直射;

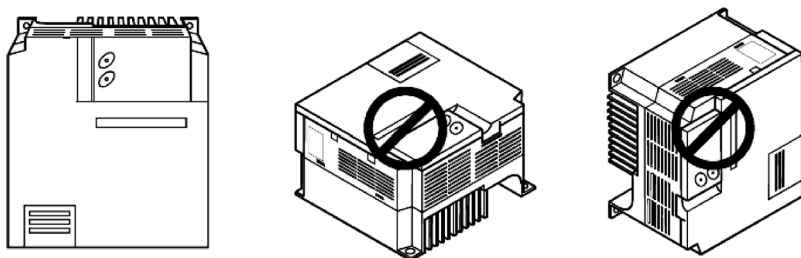


图 A.6 变频器的安装方式

#### ⑥ 无其他恶劣环境,如多粉尘、金属屑、腐蚀性流体等。

在变频器的散热方式中,自然散热和对流散热都是利用环境中空气的交换进行的,因此在控制柜内安装这两种散热方式的变频器时,必须考虑到风道设计。通常,控制柜的进风口可以选择柜门前侧底部,出风口可以选择顶部散热,在多台变频器安装时,必须考虑导风装置,以避免变频器上下单纯的层叠式安装。因为在这种层叠式安装设计中,最下面变频器散热后的热风将直接吸入到上面变频器的进风口,最后导致散热效果差。装设了导风装置后,能够保证不同位置的变频器进风温度相当。

### 4. 主回路接线

选择主回路电缆时,需考虑电流容量、短路保护、电缆压降等因素。一般情况下,变频器输入电流的有效值比电动机电流大。变频器与电动机之间的连接电缆应尽量短,因为此电缆距离长,则电压降增大,可能引起电动机转矩不足。特别是变频器输出频率低时,其输出电压也低,线路电压损失所占百分比加大。变频器与电动机之间的线路压降规定不能超过额定电压的 2%,根据这一规定来选择电缆。工厂中采用专用变频器时,如果有条件对变频器的输出电压进行补偿,则线路压降损失值可取为额定电压的 5%。

一旦容许电压给定,主回路电缆的电阻值可根据以下公式求得。

$$R_c \leq 1\,000 \times \Delta U / (\sqrt{3} \times L \times I)$$

式中, $R_c$ 为单位长度电缆的电阻值( $\text{m}\Omega/\text{m}$ ); $\Delta U$ 为容许线间压降(V); $L$ 为电缆的铺设距离(m); $I$ 为电流(A)。

当然在一般的情况下,变频器主回路电缆的选用并不需要特别的计算,而是根据变频器说明书的选型表即可得出,且电源到变频器和变频器到电动机都可以选用同一型号的电缆。

表 A.2 所示为通用变频器的主回路电缆推荐配线和断路器选型。

表 A.2 变频器主回路电缆推荐配线和断路器选型

变频器规格	导线截面积( $\text{mm}^2$ )	断路器(A)
单相 220V 0.7kW 及以下	1.5	20
单相 220V 1.5kW/2.2kW	2.5	32
三相 380V 0.75kW 及以下	1.5	10
三相 380V 1.5kW	2.5	10




续表

变频器规格	导线截面积(mm <sup>2</sup> )	断路器(A)
三相 380V 2.2kW	2.5	16
三相 380V 4kW/3.7kW	2.5	20
三相 380V 5.5kW	4.0	32
三相 380V 7.5kW	4.0	40
三相 380V 11kW	6	63
三相 380V 15kW	10	63
三相 380V 18.5kW	16	100
三相 380V 22kW	16	100
三相 380V 30kW	25	125
三相 380V 37kW	25	160
三相 380V 45kW	35	200
三相 380V 55kW	35	200
三相 380V 75kW	70	250
三相 380V 90kW	70	315
三相 380V 110kW	95	400
三相 380V 132kW	150	400
三相 380V 160kW	185	630
三相 380V 200kW	240	630
三相 380V 220kW	150×2	800
三相 380V 280kW	185×2	1 000

根据上述表格,选用合适的线缆,按照图 A.4 和表 A.3 所示的接线端子进行接线。

表 A.3 E540 变频器的接线端子

端子记号	端子名称	说 明
L1, L2, L3	电源输入	连接工频电源。当使用高功率因数整流器时,不要接任何东西
U, V, W	变频器输出	接三相鼠笼电动机
+, PR	连接制动电阻器	在端子 + - PR 之间连接选件制动电阻器
+, -	连接制动单元	连接选件制动单元或高功率因数整流器
+, PI	连接改善功率因数 DC 电抗器	拆开端子 + - PI 间的短路片,连接选件改善功率因数用直流电抗器
	接地	变频器外壳接地用,必须接大地

## 5. 控制回路接线

按图接控制线(如图 A.7 所示),并注意以下要点。

- (1) 端子 SD, SE 和 5 为输入、输出信号的公共端,这些端子不要接地。
- (2) 控制回路端子的接线应使用屏蔽线或双绞线,而且必须与主回路、强电回路(含



200V 继电器程序回路)分开布线。

(3) 由于控制回路的频率输入信号是微小电流,所以在接点输入的场所,为了防止接触不良,微小信号接点应使用两个并联的接点。

(4) 控制回路的接线建议选用  $0.3 \sim 0.75\text{mm}^2$  的电缆。

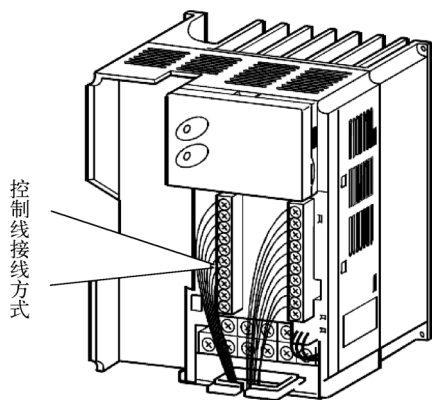


图 A.7 控制线接线方式

## 6. 通电

检查确认无误后,通电运行(参数为默认,其中运行部分可以参考任务二或先由指导教师操作)。

# 第三部分 总结提高

## 一、认真总结实训过程,书写实训报告

## 二、根据本任务所掌握的知识和技能回答问题

1. 在电气控制回路中,可以采用空气开关或接触器进行电动机的启停控制,对于变频器来说,能否采用同样的控制方式?请说明理由。
2. 变频器的安装环境不能超过  $40^{\circ}\text{C}$ ,假如环境确实恶劣,应该如何安装变频器?你会采取哪些保护措施?
3. 在接线过程中,变频器的动力线和控制线是否需要分开走线?为什么?假如分开走线,又该如何处理?
4. 变频器电源输入端 R、S、T、PE,有一个接地;另外变频器输出端 U、V、W、PE 中还有一个接地,两个接地怎么接?
5. 变频器的冷却方式哪一种最经济?在有防爆要求的情况下,如何设置冷却方式?





## 任务二 变频器的调试与参数设置

### 第一部分 实训的目的与要求

#### 一、目的与要求



##### 知识目标

- (1) 熟悉变频器的频率给定方式。
- (2) 学会变频器的运转指令方式。
- (3) 掌握变频器的参数含义及其设置方式。



##### 技能目标

熟练掌握变频器的参数设置方式,并能根据工艺要求进行调试。

#### 二、需要准备的设备、工具与器材(见表 A. 4)

表 A. 4 任务所需设备、工具与器材

名 称	型号或规格	数 量
变频器	三菱 E540(1.5kW/380V)	1 台
常用工具	扳手、起子等工具	1 套
万用表	MF 系列指针式	1 个
兆欧表	500V 指针式	1 个
电动机	Y 系列 0.55kW(三相 380V,4 极)	1 台

### 第二部分 技能训练

#### 一、任务描述

用三菱变频器操作面板(FR-PA02-02)进行参数设置,并能在各个模式之间进行切换,同时根据工艺要求进行调试。

#### 二、实训内容及操作步骤

##### 1. 熟悉三菱变频器操作面板(FR-PA02-02)各部的名称和作用

三菱变频器的操作面板(FR-PA02-02)可以进行运行、频率的设定,运行指令监视,参



数设定,故障报警。如图 A.8 所示是操作面板的外观图。

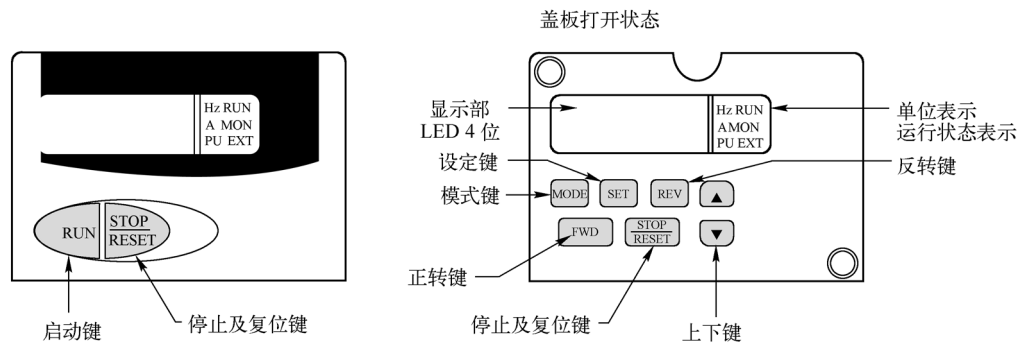


图 A.8 操作面板的外观图

表 A.5 和表 A.6 所示分别是操作面板功能键的定义和单位表示含义。

表 A.5 操作面板功能键的定义

按 键	说 明
键	正转运行指令键
键	可用于选择操作模式或设定模式
键	用于频率和参数的设定
键	<ul style="list-style-type: none"><li>用于连续增加或降低运行频率。按下这个键可改变频率</li><li>在设定模式中按下此键,则可连续设定参数</li></ul>
键	用于给出正转指令
键	用于给出反转指令
键	<ul style="list-style-type: none"><li>用于停止运行</li><li>用于保护功能动作输出停止时复位变频器</li></ul>

表 A.6 单位表示含义

表 示	说 明
Hz	表示频率时,灯亮
A	表示电流时,灯亮
RUN	变频器运行时灯亮。正转时灯亮,反转时闪亮
MON	监视显示模式时灯亮
PU	PU 操作模式时灯亮
EXT	外部操作模式时灯亮

2. 变频器上电并进行模式切换操作

将任务一中的三菱变频器 E500 上电,并按图 A.9 所示进行模式切换操作。

3. 变频器参数设定

对于三菱变频器来说,除一部分参数外,其他参数的设定仅在用 Pr. 79 选择 PU 操作模式时可以设定。

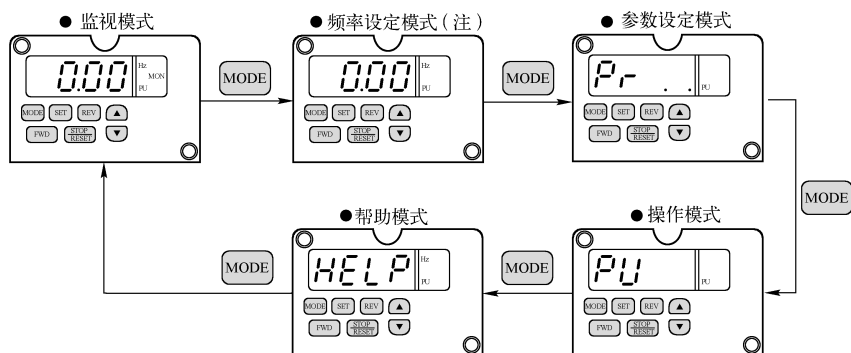


图 A.9 变频器模式切换

(注) 频率设定模式, 仅在操作模式为 PU 操作模式时显示

参数设定的基本步骤如下。

- 一个参数值的设定既可以用数字键设定, 也可以用▲/▼键增减;
- 按下[SET]键 1.5s 写入设定值并更新。

现在以一个参数(Pr. 903“频率设定电压增益”)为例, 说明变频器参数设定步骤, 其中 Pr. 79 为单数值参数(大部分参数属于这种情况), Pr. 903 为双数值参数(极少数情况)。

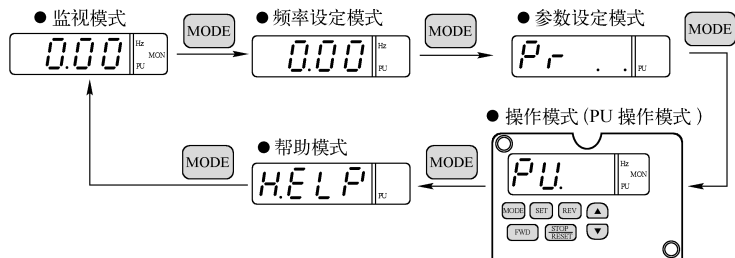
(1) 接通电源(监视模式)。如图 A. 10 所示为上电后的变频器监视模式。



图 A.10 上电后的监视模式

(2) 设定 PU 操作模式。

① 用[MODE]键确认 PU 操作模式, 如图 A. 11 所示。



确认 PU 操作模式([PU])。  
点动操作模式([JOG])或外部操作模式([OPND])时, 用▲/▼键设定为([PU])。  
外部操作模式([OPND])状态下, 用▲/▼键不能变成([PU])(Pr.79)  
“操作模式选择”时, 请按照方法②将(Pr.79)  
“操作模式选择”设定为“1”

图 A.11 设定 PU 操作模式一

② 设定 Pr. 79“操作模式选择”=“1”(PU 操作模式)。

例如, 把外部操作模式(Pr. 79 = 2)设定为 PU 操作模式(Pr. 79 = 1)时, 如图 A. 12 所示。

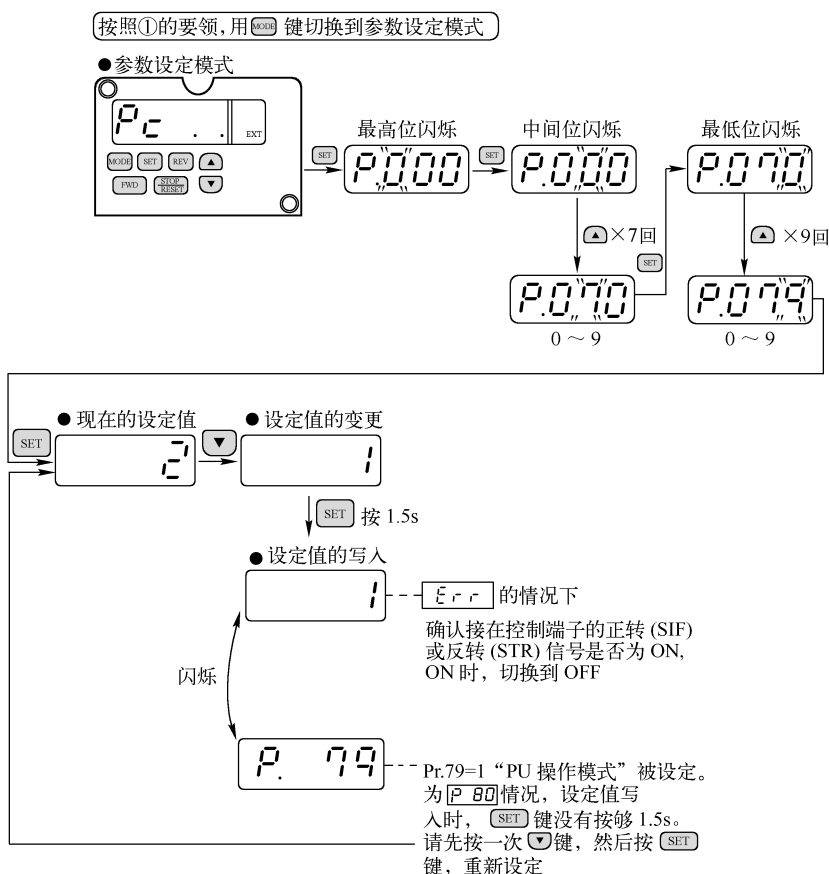


图 A.12 设定 PU 操作模式二

(3) 读出 Pr. 903, 显示现在设定的增益频率, 如图 A.13 所示。

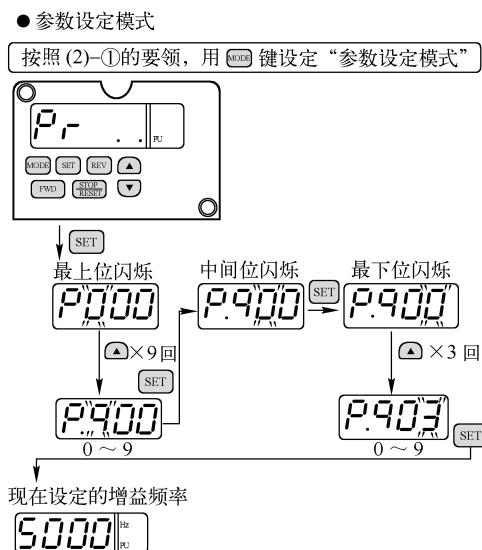


图 A.13 显示增益频率

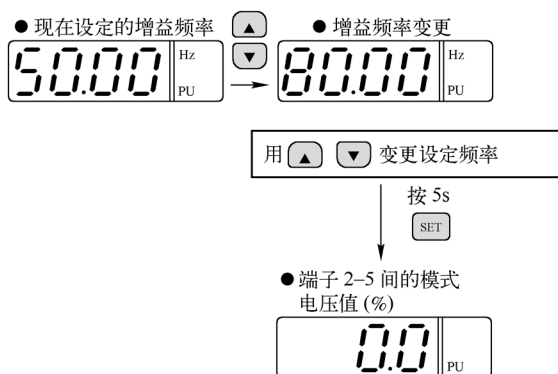


图 A.13 显示增益频率(续)

(4) 在端子 2-5 间不施加电压(端子 4-5 间不通电流),调整任意点的方法(从 4V(80%)~5V(100%))时,如图 A.14 所示。

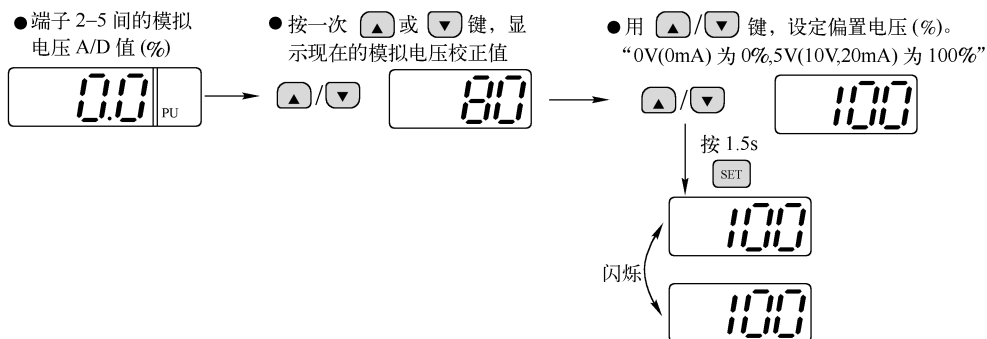


图 A.14 调整任意点的方法

至此,参数设置完毕。




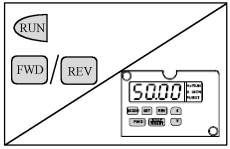

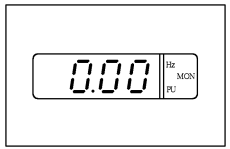
#### 4. 变频器运行

(1) 用操作面板(FR-PA02-02)设定数字频率数在 50Hz 下运行的情况,如表 A.7 所示。

表 A.7 数字频率数在 50Hz 下运行的情况

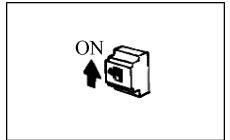
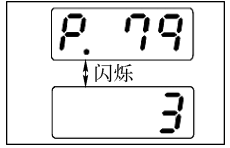
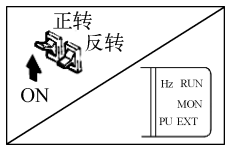



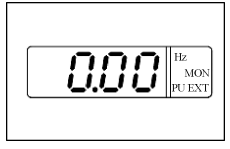
步骤	说明	图示
1	上电→确认运行状态 将电源处于 ON,设定 Pr. 79“操作模式选择”=“1”。 [PU]显示点亮	
2	运行频率设定 设定运行频率为 50Hz。 ① 用 MODE 键选择频率设定模式; ② 用 ▲/▼ 键改变设定值,用 SET 键写入	

续表

步 骤	说 明	图 示
3	<p>开始</p> <p>按  (或 , ) 键。</p> <p>电动机启动,自动地变为监视模式,显示输出频率。</p> <p>[RUN] 显示正转时点亮,反转时闪烁</p>	
4	<p>停止</p> <p>按  键。</p> <p>电动机减速后停止。</p> <p>[RUN] 显示熄灭</p>	

(2) 组合操作模式 1 (外部启动信号与操作面板并用的操作) 见表 A. 8。

表 A. 8 组合操作模式 1

步 骤	说 明	图 示
1	<p>上电</p> <p>电源 ON</p>	
2	<p>操作模式选择</p> <p>设定 Pr. 79“操作模式选择” = “3”。</p> <p>[PU] 显示和[EXT]显示点亮</p>	
3	<p>开始</p> <p>将启动开关(STF 或 STR)处于 ON。</p> <p>(注) 如果正转和反转都处于 ON 电动机不启动,如果在运行期间,同时处于 ON,电动机减速至停止。</p> <p>[RUN] 显示正转时点亮,反转时闪烁</p>	
4	<p>运行频率设定</p> <p>用  /  键把频率设定在 50Hz</p>	
5	<p>停止</p> <p>将启动开关(STF 或 STR)处于 OFF</p> <p>电动机停止运行。</p> <p>[RUN] 显示熄灭</p>	

(3) 组合操作模式 2。用接于端子 2-5 间的旋钮(频率设定器)来设定频率,用操作面板(FR-PA02-02)的 RUN 键或 FWD、REV 键来设定启动信号(Pr. 79 = 4),见表 A. 9。



表 A.9 组合操作模式 2

步 骤	说 明	图 示
1	上电 将电源处于 ON	
2	操作模式选择 设定 Pr. 79“操作模式选择”=“4”。 [PU]显示和[EXT]显示点亮	
3	开始 按下操作面板的[RUN]键(或[FWD]、[REV]键)。 [RUN]显示正转时点亮,反转时闪烁	
4	加速→恒速 把端子 2-5 间连接的旋钮(频率设定器)慢慢向右转到满刻度。 显示的频率数值逐渐增大到 50.00Hz	
5	减速 把端子 2-5 间连接的旋钮(频率设定器)慢慢向左转到头。 显示的频率数值逐渐减小到 0.00Hz。 电动机停止运行	
6	停止 按下[STOP/RESET]键。 [RUN]显示熄灭	

## 第三部分 总结提高

### 一、认真总结实训过程,书写实训报告

### 二、根据本任务所掌握的知识和技能回答问题

1. 变频器如何实现点动? 其点动的频率和加速时间在哪里进行设置?
2. 要实现变频器从正转快速向反转运行,应该如何设置参数? 你在设置参数过程中碰到了哪些问题?
3. 变频器在调试过程中,输入短路会造成什么影响? 输出短路会造成什么影响?
4. 调节变频器的输出频率有哪些常用的方式? 请举例说明。
5. 在变频器运行中,哪些参数可以改? 哪些参数不能改? 为什么?



6. 三菱变频器的组合操作模式有哪些? 如何与 PLC 进行组合控制? 请画出具体线路图和参数设置表。

## 任务三 变频器的维修与保养

### 第一部分 实训的目的与要求

#### 一、目的与要求



#### 知识目标

- (1) 熟悉变频器的日常检查内容。
- (2) 学会变频器的零部件更换内容。
- (3) 掌握变频器的保养范围及方式。



#### 技能目标

熟练掌握变频器风扇拆装的技能。

#### 二、需要准备的设备、工具与器材(见表 A. 10)

表 A. 10 任务所需设备、工具与器材

名 称	型号或规格	数 量
变频器	三菱 E540(1.5kW/380V)	1 台
常用工具	扳手、起子等工具	1 套
万用表	MF 系列指针式	1 个
兆欧表	500V 指针式	1 个
风扇	24V 变频器专用风扇	1 个

### 第二部分 技能训练

#### 一、任务描述

用低压验电器检测电源的通断和电源的特点。

#### 二、实训内容

- (1) 判断低压验电器是否完好。
- (2) 用低压验电器区分三相交流电源的相线与零线。
- (3) 用低压验电器识别三相四线制电源两导线间是同相还是异相。





(4) 用低压验电器区分直流电的正负极。

### 三、操作步骤及方法

#### 1. 主回路器件的检测

如图 A.15 所示为变频器的主回路器件,其损坏常用的判断方法为:

- (1) 整流桥:可采用万用表的二极管测量挡判断;
- (2) 电容:可观察外观,用模拟表电阻挡测充放电特性或用万用表测电容挡;
- (3) 变压器:用万用表电阻挡检测是否断路,依据温升判断匝间短路等;
- (4) 接触器:检测线圈是否断路,触点是否接触良好;
- (5) 逆变桥:IPM 采用万用表的二极管挡测量判断。

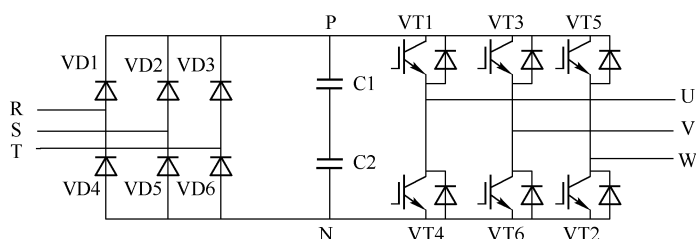


图 A.15 变频器主回路器件

现在对变频器的功率模块进行检查,在检查之前确认变频器已经断电,且充电指示灯处于“灭”状态。

功率模块的检查方法主要有以下步骤。

- ① 拆下与外连接的电源线(R、S、T)和电动机线(U、V、W);
- ② 准备好万用表(使用 $1\Omega$ 电阻测量挡或二极管测量挡);
- ③ 在变频器的端子排 R、S、T、U、V、W、P、N 处,交换万用表极性,测定它们的导通状态,便可判断其是否良好(如表 A.11 所示)。

注意:

- ① 测定时必须确认滤波电容放电以后,才能进行检测。
- ② 不导通时,将指示为 $\infty$ ,由于滤波电容的影响会瞬间导通,有时不指示 $\infty$ ,导通时指示几十欧姆,取决于模块种类、数量、万用表种类等,其数值不同,但各项指数几乎相等时,认为是良好。

表 A.11 元器件检查表格

器件名称	编号	万用表极性 +	万用表极性 -	测定值	编号	万用表极性 +	万用表极性 -	测定值
整流模块	VD1	R	P	通	VD4	R	N	不通
整流模块	VD1	P	R	不通	VD4	N	R	通
整流模块	VD2	S	P	通	VD5	S	N	不通
整流模块	VD2	P	S	不通	VD5	N	S	通
...					...			

续表

器件名称	编号	万用表极性 +	万用表极性 -	测定值	编号	万用表极性 +	万用表极性 -	测定值
...					VT6	V	N	不通
逆变模块	VT3	P	V	不通	VT6	N	V	通
逆变模块	VT5	W	P	通	VT2	W	N	不通
逆变模块	VT5	P	W	不通	VT2	N	W	通

## 2. 变频器冷却风扇的拆卸和安装

(1) 卸下变频器的前盖板,如图 A.16 所示。

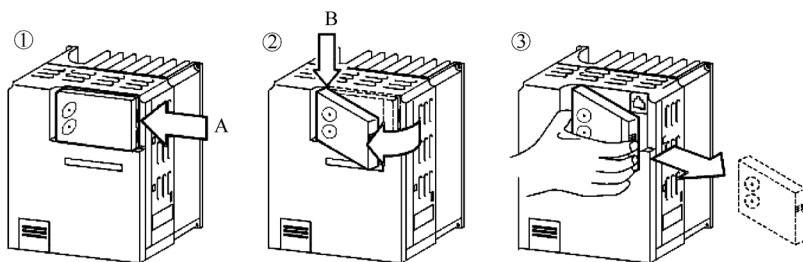
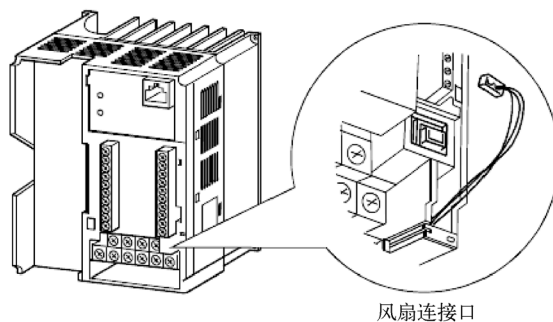


图 A.16 变频器前盖板拆卸

(2) 卸下风扇接口。变频器的冷却风扇通过变频器本体主回路端子排旁的连接排相连,如图 A.17 所示。



风扇接口

图 A.17 风扇接口

(3) 从变频器上卸下冷却风扇。按箭头 A 方向按着, B 方向拔出(如图 A.18 所示)。

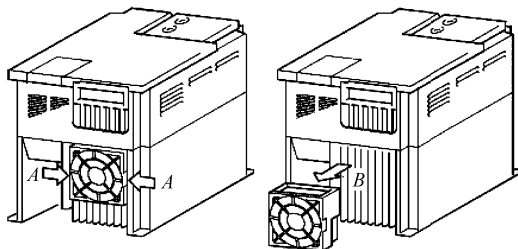


图 A.18 冷却风扇拔出



(4) 卸下冷却风扇。冷却风扇是用固定插销固定的。拆下固定插销,就可以卸下风扇和风扇盖(如图 A. 19 所示)。

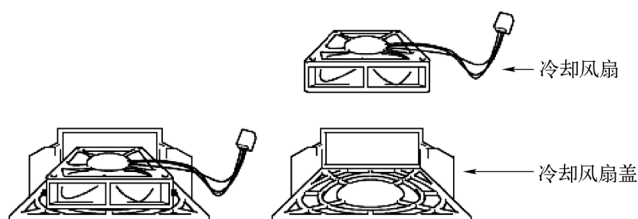


图 A. 19 冷却风扇盖

(5) 变频器冷却风扇的安装。确认风扇旋转方向后,使“**AIR FLOW**”的箭头朝向风扇盖的逆方向,把风扇安装在盖里(如图 A. 20(a)所示),并把风扇盖装在变频器里,接线通过接线槽,不要让接线卡在机壳和盖之间(如图 A. 20(b),(c)所示)。

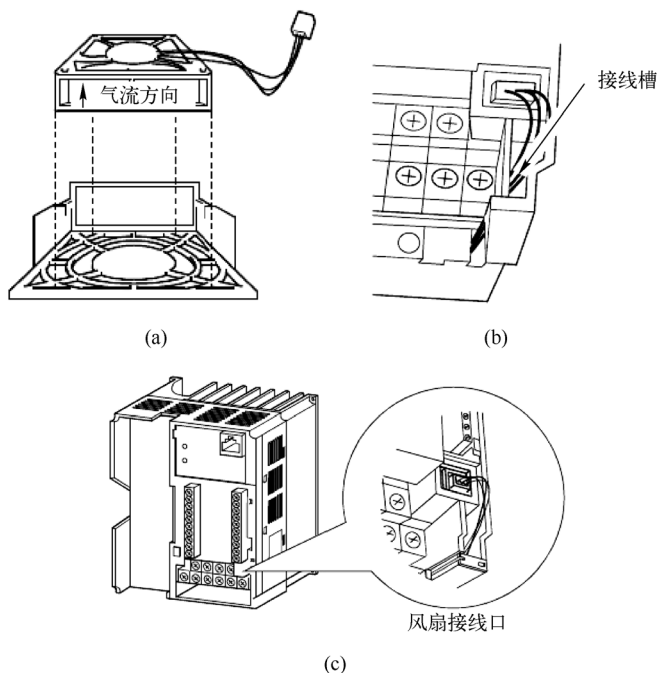


图 A. 20 冷却风扇的安装图

(6) 变频器重新上电并测试冷却风扇。注意冷却风扇的噪声、运转方向是否符合要求。有风扇的变频器机种,风的方向是从下向上,所以装设变频器的地方,上、下部不要放置妨碍吸、排气的机械器材。还有,变频器上方不要放置怕热的零件等。风扇发生故障时,由风扇停止检测或冷却风扇上的过热检测进行保护。直流冷却风扇有二线和三线之分,二线风扇其中一线为正极,另外一线为负极,更换时不要接错;三线风扇除了正负极之外还有一根检测线,更换时要注意,否则会引起变频器过热报警。交流冷却风扇一般有 110V、220V 和 380V 之分,更换时电压等级不要搞错。



## 第三部分 总结提高

### 一、认真总结实训过程,书写实训报告

### 二、根据本任务所掌握的知识和技能回答问题

1. 判断 IGBT 好坏时,一定要将万用表拨在  $R \times 10k$  挡而不是  $R \times 1k$  挡,为什么?
2. 查找可以替代三菱 E540 系列变频器的国产风机或风机型号。
3. 对于三相变频器来说,如果发生进线 S 相缺相(如图 A. 21 所示),变频器会如何保护? 假如变频器不保护,变频器长期运行会有什么后果? 你能否从变频器的直流回路端检测出变频器输入缺相?

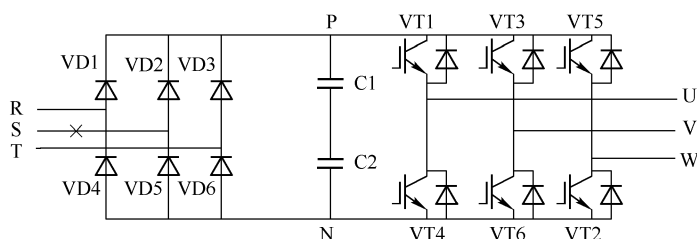


图 A. 21 变频器 S 相缺相

4. 断开电源后不久,电解电容上仍然剩余有高压电,这时应该怎么办?
5. 控制回路的通断测试是使用万用表(高阻挡)还是使用兆欧表? 为什么?
6. 变频器要不要进行耐压测试? 如要的话,如何测试?

# 附录 B

## 三菱 A500 变频器与 A700 系列的比较

### B.1 概 述

A700 系列变频器是从 A500 变频器而来的,因此两者之间存在很大的共同性,尤其是参数、端子排和安装尺寸等,具体如表 B.1 所示。

表 B.1 A500 变频器与 A700 系列的比较

项 目	FREQRQL-A500(L)	FREQROL-A700
控制方式	V/f 控制 先进磁通矢量控制	V/f 控制 先进磁通矢量控制 实时无传感器矢量控制 矢量控制(使用 FR-A7AP 内置选件)
变更、删除功能	用户组 1(16 个),用户组 2(16 个) (Pr. 160, Pr. 173 ~ Pr. 175)	仅用户组(16 个) 部分设定方法变更 (Pr. 160, Pr. 172 ~ Pr. 173)
	用户初始值设定(Pr. 199)	用户初始值设定(Pr. 199)删除 可以通过操作面板(FR-DU07)的复制功能 代用
	长配线模式 (Pr. 240 设定值 10,11)	不要设定 (Pr. 240 设定值 10,11 删除)
	智能模式选择 (Pr. 60)	参数编号变更 (Pr. 60 节能控制选择) (Pr. 292 自动加减速)
	程序运行 (Pr. 200 ~ Pr. 231)	功能删除
端子排	拆装式端子排	拆装式端子排 有上位互换性(可以安装 A500 端子排)
PU	FR-PU04-CH, DU04	FR-DU07 不可使用 FR-DU04 (使用 FR-PU04-CH 时存在部分限制)

项 目	FREQRQL-A500(L)	FREQROL-A700
内置选件	专用内置选件(无互换性)	
	计算机链接,继电器输出选件 FR-A5NR	内置在变频器本体内 (RS485 端子,继电器输出 2 点)
安装尺寸	<ul style="list-style-type: none"> <li>FR-A740-0.4K~7.5K,18.5K~55K,110K,160K 安装尺寸有互换性</li> <li>FR-A740-11K,15K 需要使用选件的安装互换附件(FR-AAT)</li> <li>冷却风扇突出附件不存在互换性。而且,3.7K 以下,11K,15K,75K 以上也不存在开口尺寸的互换性</li> </ul>	

## B.2 安装时的注意事项

A700 系列变频器与 A500 变频器相比而言,还是必须注意一些要领。

(1) A500 原有的内置选件无法兼容,操作面板 FR-DU04 无法在 A700 上使用。

(2) A500 控制电路端子排可以在不用改变接线的情况下更换成 A700,但是 0.4~22kW 的配线盖板不存在互换性(如图 B.1 所示)。

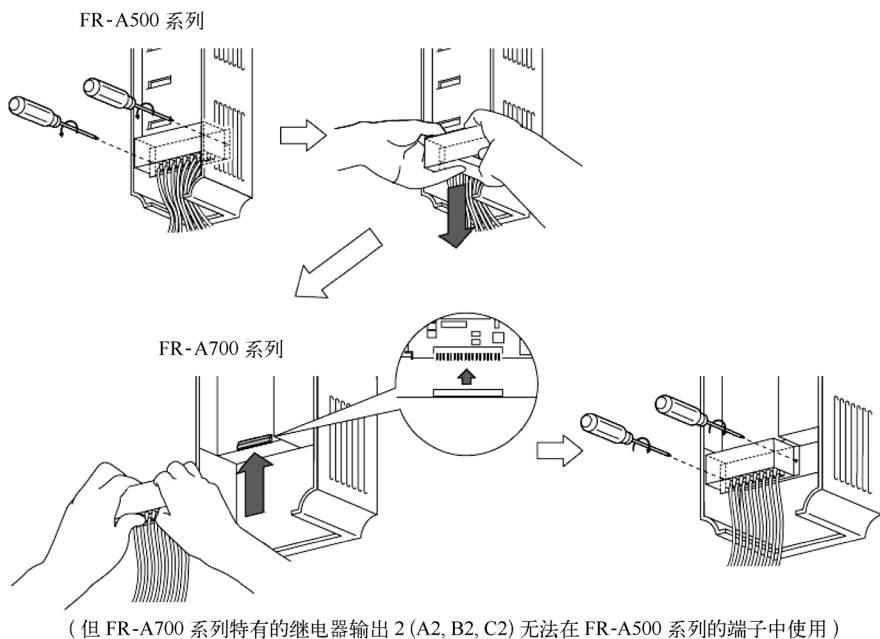


图 B.1 A500 与 A700 的端子排比较

A500 系列变频器可以使用 FR-PU04-CH 操作面板(如图 B.2 所示),在 A700 中也可以使用,但是由于 A700 变频器追加了很多功能参数,对于这些功能设定时,不能显示参数名称和设定范围,帮助功能的用户初始值清单,不能使用户清楚。

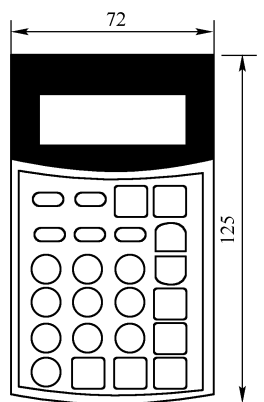


图 B.2 FR-PU04-CH 操作面板

在 A700 中也同样增加了很多保护功能,在这些功能运行时,报警显示全部为“FAULT 14”,确认报警历史的情况下,显示为“E14”。同时追加的报警显示,不在操作面板中出现。

# 附录 C

## 三菱 A700 变频器参数总表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
基本 功能	◎ 0	转矩提升	0% ~ 30%	0.1%	6/4/3/2/14 * 1
	◎ 1	上限频率	0 ~ 120Hz	0.01Hz	120/60Hz * 2
	◎ 2	下限频率	0 ~ 120Hz	0.01Hz	0Hz
	◎ 3	基准频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	50Hz
	◎ 4	多段速设定(高速)	0 ~ 400Hz	0.01Hz	50Hz
	◎ 5	多段速设定(中速)	0 ~ 400Hz	0.01Hz	30Hz
	◎ 6	多段速设定(低速)	0 ~ 400Hz	0.01Hz	10Hz
	◎ 7	加速时间	0 ~ 3 600/360s	0.1/0.01s	5/15s * 3
	◎ 8	减速时间	0 ~ 3 600/360s	0.1/0.01s	5/15s * 3
	◎ 9	电子过电流保护	0 ~ 500/0 ~ 3 600A * 2	0.01/0.1A * 2	额定电流
直流 制动	10	直流制动动作频率	0 ~ 120Hz, 9 999	0.01Hz	3Hz
	11	直流制动动作时间	0 ~ 10s, 8 888	0.1s	0.5s
	12	直流制动动作电压	0 ~ 30%	0.1%	4/21% * 4
—	13	启动频率	0 ~ 60Hz	0.01Hz	0.5Hz
—	14	适用负载选择	0 ~ 5	1	0
JOG 运行	15	点动频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	5Hz
	16	点动加减速时间	0 ~ 3 600/360s	0.1/0.01s	0.5s
—	17	MRS 输入选择	0, 2, 4	1	0
—	18	高速上限频率	120 ~ 400Hz	0.01Hz	120/60Hz * 2
—	19	基准频率电压	0 ~ 1 000V, 8 888, 9 999	0.1V	9 999
加减速 时间	20	加减速基准频率	1 ~ 400Hz	0.01%	50Hz
	21	加减速时间单位	0, 1	1	0
防止 失速	22	失速防止动作水平(转矩限制水平)	0 ~ 400%	0.1%	150%
	23	倍速时失速防止动作水平补偿系数	0 ~ 200%, 9 999	0.1%	9 999
多段速 度设定	24 ~ 27	多段速设定(4 ~ 7 速)	0 ~ 400Hz, 9 999	0.01Hz	9 999





续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
—	28	多段速输入补偿选择	0,1	1	0
—	29	加减速曲线选择	0~5	1	0
—	30	再生制动功能选择	0,1,2,10,11, 12,20,21	1	0
频率跳变	31	频率跳变 1A	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	32	频率跳变 1B	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	33	频率跳变 2A	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	34	频率跳变 2B	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	35	频率跳变 3A	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	36	频率跳变 3B	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
频率检测	37	转速显示	0,1~9 998	1	0
	41	频率到达动作范围	0%~100%	0.1%	10%
	42	输出频率检测	0~400Hz	0.01Hz	6Hz
	43	反转时输出频率检测	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
第2功能	44	第2加减速时间	0~3600/360s	0.1/0.01s	5s
	45	第2减速时间	0~3600/360s,9 999	0.1/0.01s	9 999
	46	第2转矩提升	0%~30%,9 999	0.1%	9 999
	47	第2V/f(基准频率)	0~400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	48	第2失速防止动作水平	0%~220%	0.1%	150%
	49	第2失速防止动作频率	0~400Hz,9 999	0.01Hz	0Hz
	50	第2输出频率检测	0~400Hz	0.01Hz	30Hz
	51	第2电子过电流保护	0~500A,9 999/ 0~3 600,9 999 *2	0.01/0.1A *2	9 999
监视器功能	52	DU/PU 主显示数据选择	0,5~14,17~20,22~ 25,32~35,50~ 57,100	1	0
	54	CA 端子功能选择	1~3,5~14,17,18, 21,24,32~34,50, 52,53	1	1
	55	频率监视基准	0~400Hz	0.01Hz	50Hz
	56	电流监视基准	0~500/0~3 600A *2	0.01/0.1A *2	变频器额定电流
再试	57	再启动自由运行时间	0,0.1~5s,9 999/0, 0.1~30s,9 999 *2	0.1s	9 999
	58	再启动上升时间	0~60s	0.1s	1s
—	59	遥控功能选择	0,1,2,3,	1	0
—	60	节能控制选择	0,4	1	0



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
自动加减速	61	基准电流	0 ~ 500A, 9 999/0 ~ 3 600A, 9 999 * 2	0.01/0.1A * 2	9 999
	62	加速时基准值	0% ~ 220% , 9 999	0.1%	9 999
	63	减速时基准值	0% ~ 220% , 9 999	0.1%	9 999
	64	升降机模式启动频率	0 ~ 10Hz, 9 999	0.01Hz	9 999
—	65	再试选择	0 ~ 5	1	0
—	66	失速防止动作水平降低开始频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	50Hz
再试	67	报警发生时再试次数	0 ~ 10, 101 ~ 110	1	0
	68	再试等待时间	0 ~ 10s	0.1s	1s
	69	再试次数显示和消除	0	1	0
—	70	特殊再生制动使用率	0% ~ 30% / 0% ~ 10% * 2	0.1%	0%
—	71	适用电动机	0 ~ 8, 13 ~ 18, 20, 23, 24, 30, 33, 34, 40, 43, 44, 50, 53, 54	1	0
—	72	PWM 频率选择	0 ~ 15/0 ~ 6, 25 * 2	1	2
—	73	模拟量输入选择	0 ~ 7, 10 ~ 17	1	14
—	74	输入滤波时间常数	0 ~ 8	1	1
—	75	复位选择/PU 脱离检测/PU 停止选择	0 ~ 3, 14 ~ 17	1	14
—	76	报警代码选择输出	0, 1, 2	1	0
—	77	参数写入选择	0, 1, 2	1	0
—	78	反转防止选择	0, 1, 2	1	0
—	◎79	运行模式选择	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7	1	0
电动机常数	80	电动机容量	0.4 ~ 55kW, 9 999/0 ~ 3 600kW, 9 999 * 2	0.01/0.1kW * 2	9 999
	81	电动机极数	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 112, 122, 9 999	1	9 999
	82	电动机励磁电流	0 ~ 500A, 9 999/0 ~ 3 600A, 9 999 * 2	0.01/0.1A * 2	9 999
	83	电动机额定电压	0 ~ 1 000V	0.1V	200/400V
	84	电动机额定频率	10 ~ 120Hz	0.01Hz	50Hz
	89	速度控制增益(磁通矢量)	0% ~ 200% , 9 999	0.1%	9 999
	90	电动机常数( $R_1$ )	0 ~ 50Ω, 9999/0 ~ 400mΩ, 9 999 * 2	0.001Ω/ 0.01mΩ * 2	9 999
	91	电动机常数( $R_2$ )	0 ~ 50Ω, 9 999/0 ~ 400mΩ, 9 999 * 2	0.001Ω/ 0.01mΩ * 2	9 999
	92	电动机常数( $L_1$ )	0 ~ 50Ω(0 ~ 1 000mH), 9 999/ 0 ~ 3 600mΩ (0 ~ 400mH), 9 999 * 2	0.001Ω (0.1mH)/ (0.01mΩ) (0.01mH) * 2	9 999



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
电动机	93	电动机常数( $L_2$ )	0 ~ 50 $\Omega$ (0 ~ 1 000mH), 9 999/ 0 ~ 3 600m $\Omega$ (0 ~ 400mH), 9 999 * 2	0. 001 $\Omega$ (0. 1mH)/ 0. 01m $\Omega$ (0. 01mH) * 2	9 999
	94	电动机常数( $X$ )	0 ~ 500 $\Omega$ (0% ~ 100%), 9 999/ 0% ~ 100% (0% ~ 100%), 9 999 * 2	0. 001 $\Omega$ (0. 1%) / 0. 01% (0. 01%) * 2	9 999
	95	在线自动调谐选择	0 ~ 2	1	0
	96	自动调谐设定/状态	0, 1, 101	1	0
V/F5 点可 调整	100	V/F1(第1频率)	0 ~ 400Hz, 9 999	0. 01Hz	9 999
	101	V/F1(第1频率电压)	0 ~ 1 000V	0. 1V	0V
	102	V/F2(第2频率)	0 ~ 400Hz, 9 999	0. 01Hz	9 999
	103	V/F2(第2频率电压)	0 ~ 1 000V	0. 1V	0V
	104	V/F3(第3频率)	0 ~ 400Hz, 9 999	0. 01Hz	9 999
	105	V/F3(第3频率电压)	0 ~ 1 000V	0. 1V	0V
	106	V/F4(第4频率)	0 ~ 400Hz, 9 999	0. 01Hz	9 999
	107	V/F4(第4频率电压)	0 ~ 1 000V	0. 1V	0V
	108	V/F5(第5频率)	0 ~ 400Hz, 9 999	0. 01Hz	9 999
	109	V/F5(第5频率电压)	0 ~ 1 000V	0. 1V	0V
第3 功能	110	第3加减速时间	0 ~ 3 600/360s, 9 999	0. 1/0. 01s	9 999
	111	第3减速时间	0 ~ 3 600/360s, 9 999	0. 1/0. 01s	9 999
	112	第3转矩提升	0% ~ 30%, 9 999	0. 1%	9 999
	113	第3V/F(基底频率)	0 ~ 400Hz, 9 999	0. 01Hz	9 999
	114	第3失速防止动作电流	0% ~ 220%	0. 1%	150%
	115	第3失速防止动作频率	0 ~ 400Hz	0. 01Hz	0
	116	第3输出频率检测	0 ~ 400Hz	0. 01Hz	50Hz
PU 接口 通讯	117	PU通信站号	0 ~ 31	1	0
	118	PU通信速率	48, 96, 192, 384	1	192
	119	PU通信停止位长	0, 1, 10, 11	1	1
	120	PU通信奇偶校验	0, 1, 2	1	2
	121	PU通信再试次数	0 ~ 10, 9 999	1	1
	122	PU通信校验时间间隔	0, 0. 1 ~ 999. 8s, 9 999	0. 1s	9 999
	123	PU通信等待时间设定	0 ~ 150ms, 9 999	1	9 999
	124	PU通信有无CR/LF选择	0, 1, 2	1	1
—	◎125	端子2频率设定增益	0 ~ 400Hz	0. 01Hz	50Hz
—	◎126	端子4频率设定增益	0 ~ 400Hz	0. 01Hz	50Hz



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
PID 运 行	127	PID 控制自动切换频率	0 ~ 400Hz, 9 999	0.01Hz	9 999
	128	PID 动作选择	10, 11, 20, 21, 50, 51, 60, 61	1	10
	129	PID 比例带	0.1% ~ 1 000%, 9 999	0.1%	100%
	130	PID 积分时间	0.1 ~ 3 600s, 9 999	0.1s	1s
	131	PID 上限	0% ~ 100%, 9 999	0.1%	9 999
	132	PID 下限	0% ~ 100%, 9 999	0.1%	9 999
	133	PID 动作目标值	0% ~ 100%, 9 999	0.01%	9 999
	134	PID 微分时间	0.01 ~ 10.00s, 9 999	0.01s	9 999
第 2 功 能	135	工频电源切换输出端子选择	0, 1	1	0
	136	MC 切换互锁时间	0 ~ 100s	0.1s	1s
	137	启动等待时间	0 ~ 100s	0.1s	0.5s
	138	异常时工频切换选择	0, 1	1	0
	139	变频 - 工频自动切换频率	0 ~ 60Hz, 9 999	0.01Hz	9 999
监 视 器 功 能	140	齿隙补偿加速中断频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	1Hz
	141	齿隙补偿加速中断时间	0 ~ 360s	0.1s	0.5s
	142	齿隙补偿减速中断频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	1Hz
	143	齿隙补偿减速中断时间	0 ~ 360s	0.1s	0.5s
—	144	速度设定转换	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 102, 104, 106, 108, 110, 112	1	4
PU	145	PU 显示语言切换	0 ~ 7	1	1
电 流 检 测	148	输入 0V 时的失速防止水平	0% ~ 220%	0.1%	150%
	149	输入 10V 时的防止失速水平	0% ~ 220%	0.1%	200%
	150	输出电流检测水平	0% ~ 220%	0.1%	150%
	151	输出电流检测信号延迟时间	0 ~ 10s	0.1s	0s
	152	零电流检测水平	0% ~ 220%	0.1%	5s
	153	零电流检测时间	0 ~ 1s	0.01s	0.5s
—	154	失速防止动作中的电压降低选择	0, 1	1	1
—	155	RT 信号执行条件选择	0, 10	1	0
—	156	失速防止动作选择	0 ~ 31, 100, 101	1	0
—	157	QL 信号输出延时	0 ~ 25s, 9 999	0.1s	0s
—	158	AM 端子功能选择	1 ~ 3, 5 ~ 14, 17, 18, 21, 24, 32 ~ 34, 50, 52, 53	1	1
—	159	变频 - 工频自动切换范围	0 ~ 10Hz, 9 999	0.01Hz	9 999
—	◎160	用户参数组读取选择	0, 1, 9 999	1	0



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
—	161	频率设定/键盘锁定操作选择	0,1,10,11	1	0
再启动	162	瞬时停电再启动动作选择	0,1,2,10,11,12	1	0
	163	再启动第1缓冲时间	0~20s	0.1s	0s
	164	再启动第1缓冲电压	0%~100%	0.1%	0%
	165	再启动失速防止动作水平	0%~220%	0.1%	150%
电流检测	166	输出电流检测信号保持时间	0~10s,9 999	0.1s	0.1s
	167	输出电流检测动作选择	0,1	1	0
监视器功能	170	累计电度表清零	0,10,9 999	1	9 999
	171	实际运行时间清零	0,9 999	1	9 999
用户组	172	用户参数组注册数显示/一次性删除	9 999,(0~16)	1	0
	173	用户参数注册	0~999,9 999	1	9 999
	174	用户参数删除	0~999,9 999	1	9 999
输入端子的功能分配	178	STF 端子功能选择	0~20,22~28,37,42~44,60,62,64~71,9 999	1	60
	179	STR 端子功能选择	0~20,22~28,37,42~44,61,62,64~71,9 999	1	61
	180	RL 端子功能选择	0~20,22~28,37,42~44,62,64~71,9 999	1	0
	181	RM 端子功能选择		1	1
	182	RH 端子功能选择		1	2
	183	RT 端子功能选择		1	3
	184	AU 端子功能选择	0~20,22~28,37,42~44,62~71,9 999	1	4
	185	JOG 端子功能选择	0~20,22~28,37,42~44,62,64~71,9 999	1	5
	186	CS 端子功能选择		1	6
	187	MRS 端子功能选择		1	24
	188	STOP 端子功能选择		1	25
	189	RES 端子功能选择		1	62
输出端子的功能分配	190	RUN 端子功能选择	0~8,10~20,25~28,30~36,39,41~47,64,70,84,85,90~99,100~108,110~116,120,125~128,130~136,139,141~147,164,170,184,185,190~199,9 999	1	0
	191	SU 端子功能选择	0~8,10~20,25~28,30~36,39,41~47,64,70,84,85,90~99,100~108,110~116,120,125~128,130~136,139,141~147,164,170,184,185,190~199,9 999	1	1
	192	IPF 端子功能选择		1	2
	193	OL 端子功能选择		1	3
	194	FU 端子功能选择		1	4



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
输出端子的功能分配	195	ABC1 端子功能选择	0 ~ 8, 10 ~ 20, 25 ~ 28, 30 ~ 36, 41 ~ 47, 64, 70, 84, 85, 90, 91, 94 ~ 99, 100 ~ 108, 110 ~ 116, 120, 125 ~ 128,	1	99
	196	ABC2 端子功能选择	130 ~ 136, 139, 141 ~ 147, 164, 170, 184, 185, 190, 191, 194 ~ 199, 9 999	1	9 999
多段速度设定	232 ~ 239	多段速设定(8 ~ 15 速)	0 ~ 400Hz, 9 999	0.01Hz	9 999
—	240	Soft-PWM 动作选择	0, 1	1	1
—	241	模拟输入显示单位切换	0, 1	1	0
—	242	端子 1 叠加补偿增益(端子 2)	0% ~ 100%	0.1%	100%
—	243	端子 1 叠加补偿增益(端子 4)	0% ~ 100%	0.1%	75%
—	244	冷却风扇的动作选择	0, 1	1	1
转差补偿	245	额定转差	0% ~ 50%, 9 999	0.01%	9 999
	246	转差补偿时间常数	0.01 ~ 10s	0.01s	0.5s
	247	恒功率区域转差补偿选择	0, 9 999	1	9 999
—	250	停止选择	0 ~ 100s, 1 000 ~ 1 100s, 8 888, 9 999	0.1s	9 999
—	251	输出缺相保护选择	0, 1	1	1
频率补偿功能	252	过调节偏置	0% ~ 200%	0.1%	50%
	253	过调节增益	0% ~ 200%	0.1%	150%
寿命诊断	255	寿命报警状态显示	0 ~ 15	1	0
	256	浪涌电流抑制电路寿命显示	0% ~ 100%	1%	100%
	257	控制电路电容器寿命显示	0% ~ 100%	1%	100%
	258	主电路电容器寿命显示	0% ~ 100%	1%	100%
	259	测定主电路电容器寿命	0, 1	1	0
	260	PWM 频率自动切换	0, 0	1	1
掉电停机	261	掉电停止方式选择	0, 1, 2, 11, 12	1	0
	262	起始减速频率降	0 ~ 20Hz	0.0Hz	3Hz
	263	起始减速频率	0 ~ 120Hz, 9 999	0.0Hz	50Hz
	264	掉电时减速时间 1	0 ~ 3 600/360s	0.1/0.01s	5s
	265	掉电时减速时间 2	0 ~ 3 600/360s, 9 999	0.1/0.01s	9 999
	266	掉电减速时间切换频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	5Hz
—	267	端子 4 输入选择	0, 1, 2	1	0
—	268	监视器小数位数选择	0, 1, 9 999	1	9 999



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
—	270	挡块定位,负荷转矩高速频率控制选择	0,1,2,3	1	0
负荷转 矩高速 频率控制	271	高速设定最大限电流	0% ~ 220%	0.1%	50%
	272	中速设定最小限电流	0% ~ 220%	0.1%	100%
	273	电流平均范围	0 ~ 400Hz, 9 999	0.01Hz	9 999
	274	电流平均滤波时间常数	1 ~ 4 000	1	16
挡块定位 控制	275	挡块定位励磁电流低速倍速	0% ~ 1 000% , 9 999	0.1%	9 999
	276	挡块定位时 PWM 载波频率	0 ~ 9, 9 999 / 0 ~ 4, 9 999 * 2	1	9 999
制动序 列功能	278	制动开启频率	0 ~ 30Hz	0.01Hz	3Hz
	279	制动开启电流	0% ~ 220%	0.1%	130%
	280	制动开启电流检测时间	0 ~ 2s	0.1s	0.3s
	281	制动操作开始时间	0 ~ 5s	0.1s	0.3s
	282	制动操作频率	0 ~ 30Hz	0.1Hz	6Hz
	283	制动操作停止时间	0 ~ 5s	0.1s	0.3s
	284	减速检测功能选择	0, 1	1	0
	285	超速检测频率(速度偏差过大检测频率)	0 ~ 30Hz, 9 999	0.1Hz	9 999
固定偏差 控制	286	增益偏差	0% ~ 100%	0.1%	0%
	287	滤波器偏差时定值	0 ~ 1s	0.01s	0.3s
	288	固定偏差功能动作选择	0, 1, 2, 10, 11	1	0
—	291	脉冲列输入/输出选择	0, 1	1	0
—	292	自动加减速	0, 1, 3, 5 ~ 8, 11	1	0
—	293	加速减速个别动作选择模式	0 ~ 2	1	0
—	294	UV 回避电压增益	0% ~ 200%	0.1%	100%
—	299	再启动时的旋转方向检测选择	0, 1, 9 999	1	0
RS485 通信	331	RS485 通信站号	0 ~ 31 (0 ~ 247)	1	0
	332	RS485 通信速率	3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384	1	96
	333	RS485 通信停止位长	0, 1, 10, 11	1	1
	334	RS485 通信奇偶校验选择	0, 1, 2	1	2
	335	RS485 通信再试次数	0 ~ 10, 9 999	1	1
	336	RS485 通信校验时间间隔	0 ~ 999.8s, 9 999	0.1s	0s
	337	RS485 通信等待时间设定	0 ~ 150ms, 9 999	1	9 999
	338	通信运行指令权	0, 1	1	0
	339	通信速率指令权	0, 1, 2	1	0



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
RS485 通信	340	通信启动模式选择	0,1,2,10,12	1	0
	341	RS485 通信 CR/LF 选择	0,1,2	1	1
	342	通信 EEPROM 写入选择	0,1	1	0
	343	通信错误计数	—	1	0
定向控制	350 * 5	停止位置指令选择	0,1,9 999	1	9 999
	351 * 5	定速速度	0 ~ 30Hz	0.01Hz	2Hz
	352 * 5	蠕变速度	0 ~ 10Hz	0.01Hz	0.5Hz
	353 * 5	蠕变切换位置	0 ~ 16 383	1	511
	354 * 5	位置环路切换位置	0 ~ 8 191	1	96
	355 * 5	直流制动开始位置	0 ~ 255	1	5
	356 * 5	内部停止位置指令	0 ~ 16 383	1	0
	357 * 5	定向完成区域	0 ~ 255	1	5
	358 * 5	伺服转矩选择	0 ~ 13	1	1
	359 * 5	PLG 转动方向	0,1	1	1
	360 * 5	16 位数据选择	0 ~ 127	1	0
	361 * 5	移位	0 ~ 16 383	1	0
	362 * 5	定向位置环路增益	0.1 ~ 100	0.1	1
	363 * 5	完成信号输出延迟时间	0 ~ 5s	0.1s	0.5s
	364 * 5	PLG 停止确认时间	0 ~ 5s	0.1s	0.5s
	365 * 5	定向结束时间	0 ~ 60s,9 999	1s	9 999
	366 * 5	再确认时间	0 ~ 5s,9 999	0.1s	9 999
PLG 反 馈	367 * 5	速度反馈范围	0 ~ 400Hz,9 999	0.01Hz	9 999
	368 * 5	反馈增益	0 ~ 100	0.1	1
	369 * 5	PLG 脉冲数量	0 ~ 4 096	1	1024
	374	过速度检测水平	0 ~ 400Hz	0.01Hz	115Hz
	376 * 5	选择有无断线检测	0,1	1	0
S 字 加 减 速 C	380	加速时 S 字 1	0% ~ 50%	1%	0
	381	减速时 S 字 1	0% ~ 50%	1%	0
	382	加速时 S 字 2	0% ~ 50%	1%	0
	383	减速时 S 字 2	0% ~ 50%	1%	0
脉冲列 输入	384	输入脉冲分度倍率	0 ~ 250	1	0
	385	输入脉冲零时频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	0
	386	输入脉冲最大时频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	40Hz





续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
定向控制	393 * 5	定向选择	0,1,2	1	0
	396 * 5	定向速度增益(P项)	0 ~ 1 000	1	60
	397 * 5	定向速度积分时间	0 ~ 20s	0.001s	0.333s
	398 * 5	定向速度增益(D项)	0 ~ 100	0.1	1
	399 * 5	定向减速率	0 ~ 1000	1	20
维护	503	维护定时器	0(1 ~ 9 998)	1	0
	504	维护定时器报警输出设定时间	0 ~ 9 998,9 999	1	9 999
—	505	速度设定基准	1 ~ 120Hz	0.0Hz	50Hz
S 字 加 减 速 D	516	加速开始时的S字时间	0.1 ~ 2.5s	0.1s	0.1s
	517	加速完成时的S字时间	0.1 ~ 2.5s	0.1s	0.1s
	518	减速开始时的S字时间	0.1 ~ 2.5s	0.1s	0.1s
	519	减速完成时的S字时间	0.1 ~ 2.5s	0.1s	0.1s
—	539	Modbus RTU 通信校验时间间隔	0 ~ 998.8s,9 999	0.1s	9 999
USB	547	USB 通信站号	0 ~ 31	1	0
	548	USB 通信检查时间间隔	0 ~ 999.8s,9 999	0.1s	9 999
通讯	549	协议选择	0,1	1	0
	550	网络模式操作权选择	0,1,9 999	1	9 999
	551	PU 模式操作权选择	1,2,3	1	2
电 流 平 均 值	555	电流平均时间	0.1 ~ 1.0s	0.1s	1s
	556	数据输出屏蔽时间	0.0 ~ 20.0s	0.1s	0s
	557	电流平均值监视信号基准输出电流	0 ~ 500/0 ~ 3 600A * 2	0.01/0.1A * 2	变频器 额定电流
—	563	累计通电时间次数	(0 ~ 65 535)	1	0
—	564	累计运转时间次数	(0 ~ 65 535)	1	0
—	598	欠电压电平	350 ~ 430V DC,9 999	0.1V	9 999
—	611	再启动时加速时间	0 ~ 3 600s,9 999	0.1s	5/15s * 2
—	665	再生回避频率增益	0% ~ 200%	0.1%	100%
—	684	调谐数据单位切换	0,1	1	0
—	800	控制方法选择	0 ~ 5,9 ~ 12,20	1	20
—	802 * 5	预备励磁选择	0,1	—	0
转 矩 指 令	803	恒输出区域转矩特性选择	0,1	1	0
	804	转矩指令权选择	0,1,3 ~ 6	1	0
	805	转矩指令值(RAM)	600% ~ 1 400%	1%	1 000%
	806	转矩指令值(PAM,EEPROM)	600% ~ 1 400%	1%	1 000%



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
速度限制	807	速度限制选择	0,1,2	1	0
	808	正转速度限制	0 ~ 120Hz	0.01Hz	50Hz
	809	反转速度限制	0 ~ 120Hz,9 999	0.01Hz	9 999
转矩限制	810	转矩限制输入方法选择	0,1	1	0
	811	设定分辨率切换	0,1,10,11	1	0
	812	转矩限制水平(再生)	0% ~ 400%,9 999	0.1%	9 999
	813	转矩限制水平(第3象限)	0% ~ 400%,9 999	0.1%	9 999
	814	转矩限制水平(第4象限)	0% ~ 400%,9 999	0.1%	9 999
	815	转矩限制水平2	0% ~ 400%,9 999	0.1%	9 999
	816	加速时转矩限制水平	0% ~ 400%,9 999	0.1%	9 999
	817	减速时转矩限制水平	0% ~ 400%,9 999	0.1%	9 999
简单增益调谐	818	简单增益调谐响应性设定	1 ~ 15	1	2
	819	简单增益调谐选择	0 ~ 2	1	0
调整功能	820	速度控制 P 增益 1	0% ~ 1 000%	1%	60%
	821	速度控制积分时间 1	0 ~ 20s	0.001s	0.333s
	822	速度设定滤波器 1	0 ~ 5s,9 999	0.001s	9 999
	823 * 5	速度检测滤波器 1	0 ~ 0.1s	0.001s	0.001s
	824	转矩控制 P 增益 1	0% ~ 200%	1%	100%
	825	转矩控制积分时间 1	0 ~ 500ms	0.1ms	5ms
	826	转矩设定滤波器 1	0 ~ 5s,9 999	0.001s	9 999
	827	转矩检测滤波器 1	0 ~ 0.1s	0.001s	0s
	828	模型速度控制增益	0% ~ 1 000%	1%	60%
	830	速度控制 P 增益 2	0% ~ 1 000%,9 999	1%	9 999
	831	速度控制积分时间 2	0 ~ 20s,9 999	0.001s	9 999
	832	速度设定滤波器 2	0 ~ 5s,9 999	0.001s	9 999
	833 * 5	速度检测滤波器 2	0 ~ 0.1s,9 999	0.001s	9 999
	834	转矩控制 P 增益 2	0% ~ 200%,9 999	1%	9 999
	835	转矩控制积分时间 2	0 ~ 500ms,9 999	0.1ms	9 999
	836	转矩设定滤波器 2	0 ~ 5s,9 999	0.001s	9 999
	837	转矩检测滤波器 2	0 ~ 0.1s,9 999	0.001s	9 999
转矩偏置	840 * 5	转矩偏置选择	0 ~ 3,9 999	1	9 999
	841 * 5	转矩偏置 1	600% ~ 1 400%,9 999	1%	9 999
	842 * 5	转矩偏置 2	600% ~ 1 400%,9 999	1%	9 999
	843 * 5	转矩偏置 3	600% ~ 1 400%,9 999	1%	9 999
	844 * 5	转矩偏置滤波器	0 ~ 5s,9 999	0.001s	9 999



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
转矩偏置	845 * 5	转矩偏置动作时间	0 ~ 5s, 9 999	0.01s	9 999
	846 * 5	转矩偏置平衡补偿	0 ~ 10V, 9 999	0.1V	9 999
	847 * 5	下降时转矩偏置端子 1 偏置	0% ~ 400%, 9 999	1%	9 999
	848 * 5	下降时转矩偏置端子 1 增益	0% ~ 400%, 9 999	1%	9 999
保护功能	872	输入缺相保护选择	0, 1	1	0
	873 * 5	速度限制	0 ~ 120Hz	0.01Hz	20Hz
	874	OLT 水平设定	0% ~ 200%	0.1%	150%
	875	故障定义	0	1	1, 0
控制系统功能	877	速度前馈控制、模型适应速度控制选择	0, 1, 2	1	0
	878	速度前馈滤波器	1 ~ 1s	0.01s	0s
	879	速度前馈转矩限制	0% ~ 400%	0.1%	150%
	880	负荷惯性比	0 ~ 200 倍	0.1	7
	881	速度前馈增益	0% ~ 1 000%	1%	0%
避免再生功能	882	再生回避动作选择	0, 1, 2	1	0
	883	再生回避动作水平	300 ~ 800V	0.1V	DC760V
	884	减速时检测避免再生的敏感度	0 ~ 5	1	0
	885	再生回避补偿频率限制值	0 ~ 10Hz, 9 999	0.01Hz	6Hz
	886	再生回避电压增益	0% ~ 200%	0.1%	100%
节能监视器	891	累计电力监视位切换频率	0 ~ 4, 9 999	1	9 999
	892	负载率	30% ~ 150%	0.1%	100%
	893	节能监视器基准(电动机容量)	0.1 ~ 55/ 0 ~ 3 600kW · 2	0.01/ 0.1kW · 2	变频器 额定容量
	894	工频时控制选择	0, 1, 2, 3	1	0
	895	节能功率基准值	0, 1, 9 999	1	9 999
	896	电价	0 ~ 500, 9 999	0.01	9 999
	897	节能监视器平均时间	0, 1 ~ 1 000h, 9 999	1	9 999
	898	清除节能累计监视值	0, 1, 10, 9 999	1	9 999
	899	运行时间率(推测值)	0% ~ 100%, 9 999	0.1%	9 999
校正参数	C0(900)	CA 端子校正	—	—	—
	C1(901)	AM 端子校正	—	—	—
	C2(902)	端子 2 频率设定偏置频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	0Hz
	C3(902)	端子 2 频率设定偏置	0% ~ 300%	0.1%	0%
校正参数	125(903)	端子 2 频率设定增益频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	50Hz
	C4(903)	端子 2 频率设定增益	0% ~ 300%	0.1%	100%
	C5(904)	端子 4 频率设定偏置频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	0Hz



续表

功 能	参 数	名 称	设 定 范 围	最小 设定单位	初始值
校正参数	C6(904)	端子 4 频率设定偏置	0% ~ 300%	0.1%	20%
	126(905)	端子 4 频率设定增益频率	0 ~ 400Hz	0.01Hz	50Hz
	C7(905)	端子 4 频率设定增益	0% ~ 300%	0.1%	100%
模拟 输出 电流 校正	C8(930)	电流输出偏置信号	0% ~ 100%	0.1%	0%
	C9(930)	电流输出偏置电流	0% ~ 100%	0.1%	0%
	C10(931)	电流输出增益信号	0% ~ 100%	0.1%	100%
	C11(931)	电流输出增益电流	0% ~ 100%	0.1%	100%
校正参数	C12(917)	端子 1 偏置频率(速度)	0 ~ 400Hz	0.01Hz	0Hz
	C13(917)	端子 1 偏置(速度)	0% ~ 300%	0.1%	0%
	C14(918)	端子 1 增益频率(速度)	0 ~ 400Hz	0.01Hz	50Hz
	C15(918)	端子 1 增益(速度)	0% ~ 300%	0.1%	100%
	C16(919)	端子 1 偏置指令(转矩/磁通)	0% ~ 400%	0.1%	0%
	C17(919)	端子 1 偏置(转矩/磁通)	0% ~ 300%	0.1%	0%
	C18(920)	端子 1 增益指令(转矩/磁通)	0% ~ 400%	0.1%	150%
	C19(920)	端子 1 增益(转矩/磁通)	0% ~ 300%	0.1%	100%
	C38(932)	端子 4 偏置指令(转矩/磁通)	0% ~ 400%	0.1%	0%
	C39(932)	端子 4 偏置(转矩/磁通)	0% ~ 300%	0.1%	20%
	C40(933)	端子 4 增益指令(转矩/磁通)	0% ~ 400%	0.1%	150%
	C41(933)	端子 4 增益(转矩/磁通)	0% ~ 300%	0.1%	100%
	989	解除拷贝参数报警	10,100	1	10/100 * 2
PU	990	PU 蜂鸣器音控制	0,1	1	1
	991	PU 对比度调整	0 ~ 63	1	58
参数清除	Pr. CL	清除参数	0,1	1	0
	ALLC	参数全部清除	0,1	1	0
	Er, CL	清除报警历史	0,1	1	0
	PCPY	参数拷贝	0,1,2,3	1	0

\*1 容量不同也各不相同(0.4kW/0.75kW/1.5 ~ 3.7kW/5.5kW/7.5kW/11kW ~ 55kW/75kW 以上)。

\*2 容量不同也各不相同(55kW 以下/75kW 以上)。

\*3 容量不同也各不相同(7.5kW 以下/11kW 以上)。

\*4 容量不同也各不相同(7.5kW 以下/11 ~ 55kW/75kW 以上)。

\*5 仅在 FR-A7AP 安装时可进行设定

• 有⊙标记的参数表示的是简单模式参数(初始值为扩展模式)。

• 对于有□标记的参数,即使 Pr. 77“参数写入选择”为“0”(初始值),也可以在运行过程中更改。



## 参 考 文 献

- [1] 李方园. 自动化综合实践[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [2] 李方园. 维修电工技能实训[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [3] 李方园. 变频器行业应用实践[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [4] 李方园. 变频器应用与维护[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [5] 三菱通用变频器 FR-A700 使用手册(基础篇)[M]. 三菱电机自动化(上海)有限公司.
- [6] 三菱通用变频器 FR-A700 使用手册(应用篇)[M]. 三菱电机自动化(上海)有限公司.
- [7] 张宗桐. 变频器应用与配套技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

# 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036